

博士論文

# 読みの視知覚メカニズムにもとづく 日本語電子リーダーの設計

公立はこだて未来大学大学院  
システム情報科学研究科

小林 潤平

2016年8月

\* \* \*

Doctoral Thesis

## Designing E-reader for Japanese Text Based on Perceptual Mechanisms of Reading

by

JUMPEI KOBAYASHI

Graduate School of Systems Information Science  
Future University Hakodate

August 2016

## Abstract

This thesis describes the development of Japanese electronic text readers based on the perceptual mechanisms of reading to improve eye movement efficiency without increasing cognitive load or decreasing comprehension. When reading text, people tend to direct their gaze toward the center of a word. This is called the optimal viewing position. The optimal viewing position results in the shortest gaze durations and fewest re-fixations. In the case of Japanese text, the eyes tend to fixate on each characteristic Japanese linguistic unit (*bunsetsu*). An electronic Japanese text reader that facilitates accurate control of eye movements to such *bunsetsu* segments could increase the reading rate and result in more efficient eye movements. The aim of this thesis is to develop new techniques to decrease inefficient eye movements when reading Japanese text.

This thesis is organized as follows.

**Chapter 1** presents a general introduction to the concepts of Japanese electronic text readers with *bunsetsu*-based layouts.

**Chapter 2** reviews the work related to eye movement when reading and electronic text readers.

**Chapter 3** describes the experimental conditions with regard to participants, stimuli, procedures, and apparatus, and presents an analysis of eye movements.

**Chapter 4** investigates the effect of line length (5–40 characters per line) on reading speed and eye movement using a Japanese electronic text reader. The results demonstrate that, generally, reading speed increases with increase in line length; however, reading speed tends to plateau at 20 characters per line and above. This result is explained by a trade-off between fixation duration, forward saccade length, number of regressions, and the number of undershoots in return sweeps. At longer line lengths, shorter fixation duration and longer forward saccade length contribute to higher reading speed, whereas higher regression frequency and higher frequency of undershoots in return sweeps contribute to lower reading speed.

**Chapter 5** investigates the effectiveness of the layout with *bunsetsu*-based line breaking. A *bunsetsu*-based linefeed layout breaks a line between *bunsetsu* segments, i.e., splitting a *bunsetsu* segment is prohibited. The reading speed for the *bunsetsu*-based linefeed layout was faster compared to the conventional text layout with line lengths of 5–40 characters per line. The enhancements in reading speed were likely due to the optimization of eye movements near the edge of a line. In the case of 5–11 characters per line, the enhancements in reading speed were likely due to an increase in the number of lines that can be recognized by a single fixation. These results indicate that the *bunsetsu*-based linefeed layout is an effective technique to improve reading efficiency.

**Chapter 6** describes the development of a new stepped-line text reader with *bunsetsu*-

based segmentation. The stepped-line layout has a stepwise baseline for each *bunsetsu* segment. The reading speed for the stepped-line layout was approximately 7%–11% faster compared to the straight-line layout with line lengths of 20–40 characters per line. The enhancements in reading speed were likely due to a reduction in regressions and an expansion of forward saccade length. Moreover, 91% of the participants did not experience illegibility or incongruousness with the stepped-line layout. These results indicate that the stepped-line layout is an effective technique to improve the efficiency of reading text with line lengths of 20–40 characters per line without an increase in cognitive load or a decrease in comprehension.

**Chapter 7** describes the development of a new micro-vibration text reader with *bunsetsu*-based segmentation. The new reader vibrates each *bunsetsu* segment in a different phase to enhance boundary information for eye guidance. The reading speed for the micro-vibration text was approximately 7%–12% faster compared to the stable text with line lengths of approximately 11–29 characters per line. The enhancements in reading speed were likely due to a reduction in re-fixations within a *bunsetsu* segment and an increase in the number of lines that can be recognized by a single fixation without horizontal saccades. Moreover, 76% of the participants did not experience illegibility or incongruousness with the micro-vibration text reader. These results indicate that micro-vibration is an effective technique to improve the efficiency of reading text with line lengths of 11–29 characters per line without an increase in cognitive load or a decrease in comprehension.

**Chapter 8** describes the development of a new stepwise incremental indent layout with *bunsetsu*-based segmentation and a vertical scrolling operation. The reading speed obtained by the proposed layout of 4.4 characters per line was comparable to the fixed-line length layout of 29 characters per line. This enhancement is primarily achieved by a reduction in the number of fixations. Moreover, 85% of the participants did not experience illegibility or incongruousness with the stepwise incremental indent layout reading. These results indicate that this layout is an effective technique to improve the efficiency of reading text with line lengths of 5 characters per line without an increase in cognitive load or a decrease in comprehension.

**Chapter 9** provides a comprehensive discussion of the results presented in Chapters 4–8. These results indicate that the proposed techniques can improve eye movement efficiency. Furthermore, they indicate that the Japanese electronic text reader with these proposed techniques can improve the reading speed of text with line lengths of 5–40 characters per line without an increase in cognitive load or decrease in comprehension.

**Chapter 10** presents the conclusions of this thesis.

**Keywords:** reading, Japanese text reader, text layout, eye movements, readability

## 概要

本論文では、人間の視知覚メカニズムにもとづいた文字レイアウトの工夫やスクロール操作の併用によって、文章を読み進める際の非効率な視点移動を改善し、読み心地や理解度を維持したまま、読み効率の向上をうながす日本語電子リーダーを設計する。

読書中の眼球運動は停留とサッカードの繰り返しであり、停留中には中心視で文字を認識すると同時に周辺視で次の停留場所の選定を行う。単語認知が最も早くなる停留場所は最適停留位置と呼ばれ、多くの言語で単語の中心付近であることが報告されている。もし、最適停留位置から外れた場所に停留すると、同一単語内で再停留が発生しやすくなるために、読み効率の向上には、最適停留位置への的確な視点移動が欠かせない。日本語文章中の視点移動は文節単位となる傾向が報告されており、文節単位への的確な視点移動をうながす仕組みを見出し、電子リーダーに実装することができれば、より効率のよい眼球運動で、速く読める可能性がある。

そこで本論文では、読書中の眼球運動を詳細に分析しながら、非効率な視点移動を減らす新たな文章表示手法を見出すとともに、電子リーダーへの効果的な適用を図るための設計について明らかにすることを目的とした。

本論文は10章から構成され、その内容は下記の通りである。

**第1章**は序論であり、研究の背景と本論文の目的について述べている。

**第2章**では、人間の視知覚メカニズムや読みにおける眼球運動の特徴を述べるとともに、これまでの読みに関する研究および電子リーダーに関する研究について概観している。さらに、本研究における電子リーダーの設計指針について述べている。

**第3章**では、本研究の実験協力者や刺激文章、実験手続きや実験装置および視線解析手法など、第4章から第8章の研究の基盤となる実験手法について述べている。

**第4章**では、日本語横書き文の電子リーダーの行長設計に関連して、行長変化が読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証した。1行あたり5文字から40文字の5段階の行長で読み速度を検証した結果、読み速度は行長の伸長とともに増加し、最も短い5文字/行で最小、最も長い40文字/行で最大であったが、20文字/行以上ではほぼ一定の傾向を示した。実験協力者に最も好まれた行長範囲は20～29文字/行であった。読み速度の行長依存性は「停留時間」「順行サッカード長」「逆行による過剰停留数」「改行運動中の過剰停留数」の眼球運動指標で説明され、行長が長いほど、停留時間は短く順行サッカード長は長くなって読み速度の向上に寄与する一方で、行長が長いほど、逆行による過剰停留および改行運動中の過剰停留は増えて読み速度の低下をもたらすという、トレードオフの関係が見出された。

**第5章**では、日本語横書き文における改行位置が、読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証した。改行位置を文節間に設定したレイアウトでは、一定の長さで改行した従来レイアウトよりも、理解度を維持したまま、速く読めることがわかった。「改行位置を文節間に設定したレイアウト」における読み速度は、「一定の長さで改行した従来レイアウト」における読み速度よりも、5文字/行の場合に26%、40文字/行の場合に

10 %向上した。5 ~ 11 文字/行の短行における読み速度の向上は、1 行を 1 停留で読む割合が増大したことに起因する「停留数の削減」「改行運動中の過剰停留の削減」および「停留時間の短縮」によるものと推察された。29 ~ 40 文字/行の長行における読み速度の向上は「改行運動中の過剰停留の削減」および「逆行による過剰停留の削減」によるものと推察された。改行位置を文節間に設定するレイアウト手法が、読み効率の向上につながるということがわかった。

**第 6 章**では、第 5 章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え、さらに文字ベースラインを文節ごとに階段状に下げていく手法によって文節単位の視認性を向上させるレイアウトを提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字ベースラインを階段状に下げていくレイアウト」では、「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」よりも、理解度を維持したまま、速く読めることがわかった。このとき、91 %の実験協力者が読み心地の低下を感じなかったこともわかった。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字ベースラインを階段状に下げていくレイアウト」における読み速度は、「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」における読み速度よりも、20 ~ 40 文字/行の範囲において、7 ~ 11 %向上した。読み速度の向上は停留数の減少によってもたらされており、「逆行数の減少」と「順行サッカード長の伸長」が主な原因と推察された。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で階段状に文字ベースラインを下げていくレイアウト」は、比較的長い 20 ~ 40 文字/行の行長範囲で読み効率の向上をうながす有効な表示方式であることがわかった。

**第 7 章**では、第 6 章の階段状ベースラインレイアウトでは改善されなかった比較的短い行長の読み効率向上を図るべく、第 5 章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節ごとに異なる位相で文字を微振動させる表示方式を提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字を微振動させた表示方式」では、「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」よりも、理解度を維持したまま、速く読めることがわかった。このとき、76 %の実験協力者が読み心地の低下を感じなかったこともわかった。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字を微振動させた表示方式」における読み速度は、「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」における読み速度よりも、11 ~ 29 文字/行の範囲において、7 ~ 12 %向上した。読み速度の向上は停留数の減少によってもたらされており、「1 文節あたりの再停留率の減少」および「1 行を 1 停留で読む割合の増加に伴う停留の減少」が主な原因と推察された。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字を微振動させた表示方式」は、比較的短い 11 ~ 29 文字/行の行長範囲で読み効率の向上をうながす有効な表示方式であることがわかった。

**第 8 章**では、第 5 ~ 7 章の手法では改善できなかった極めて短い 5 文字/行における読み効率向上を図るべく、指先のスクロール操作で発生する文字移動を眼球運動の一部ととらえ、各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式を提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した。「各

行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」では、理解度を維持したまま、1行あたり29文字で改行した従来の日本語レイアウトと同等の速度で読めることがわかった。さらに1行あたり5文字で改行した従来の日本語レイアウトと比較すると、「各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」では36%速く読めることがわかった。また、「単各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」では、スクロール移動する文字の動きと、文字を読む目の動きが協調的に連携しており、あたかも長い一行を短いサックードで次々読んでいくような目の動きで読み進めていることがわかった。「各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」は、視点移動とスクロール操作を協調的に連携させるという新しい読み方を必要とするが、85%の実験協力者が読み心地の低下を感じておらず、約5文字/行の短い行長で読み効率の向上をうながす有効な表示方式であることがわかった。

**第9章**では、第4章から第8章までの各提案手法とその結果を総合的に分析し、文章を読み進める際に発生する非効率な視点移動の改善という観点から統一的に論じるなかで、電子リーダーへの効果的な適用を図るための設計について明らかにしている。

**第10章**は結論であり、本論文の成果の要約である。

**キーワード：** 読み、日本語電子リーダー、文字レイアウト、眼球運動、可読性

# 目次

<b>第1章 序論</b>	<b>1</b>
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	3
1.3 本論文の構成	4
<b>第2章 読みに関する従来研究</b>	<b>5</b>
2.1 視覚基礎	5
2.2 読みにおける眼球運動の基本的特徴	6
2.2.1 停留	7
2.2.2 サッカーード	8
2.2.3 逆行運動	8
2.2.4 改行運動	8
2.3 読みの視知覚メカニズム	8
2.3.1 有効視野の広さ	9
2.3.2 プレビュー領域で獲得する情報	9
2.3.3 読みに適した停留場所	10
2.3.4 情報獲得のタイミング	11
2.3.5 眼球運動の制御モデル	12
2.4 読みに影響をあたえる表記要素	12
2.4.1 行長	12
2.4.2 改行	14
2.4.3 行間	14
2.4.4 わかち書き	14
2.4.5 書体と文字形	15
2.4.6 背景色と文字色	15
2.4.7 縦書きと横書き	16

2.5	読みと電子リーダー . . . . .	16
2.5.1	スクロール表示 . . . . .	16
2.5.2	Rapid Serial Visual Presentation . . . . .	18
2.5.3	自然言語処理を用いた日本語文書自動整形システム . . . . .	18
2.5.4	速読支援メディア . . . . .	19
2.6	日本語電子リーダーの設計指針 . . . . .	19
2.6.1	従来研究のまとめと課題 . . . . .	20
2.6.2	日本語電子リーダーの設計指針 . . . . .	21
<b>第3章</b>	<b>実験方法</b>	<b>23</b>
3.1	実験協力者 . . . . .	23
3.2	刺激 . . . . .	23
3.2.1	テキスト . . . . .	23
3.2.2	電子リーダー . . . . .	24
3.3	視線検出装置 . . . . .	24
3.4	手続き . . . . .	25
3.5	解析 . . . . .	28
3.5.1	停留の抽出と補正 . . . . .	28
3.5.2	停留時間の定義 . . . . .	30
3.5.3	順行サッカード長の定義 . . . . .	31
3.5.4	行端所要幅の定義 . . . . .	31
3.5.5	過剰停留の定義 . . . . .	31
3.5.6	文節内再停留の定義 . . . . .	33
<b>第4章</b>	<b>行長の設計</b>	<b>34</b>
4.1	緒言 . . . . .	34
4.2	実験 . . . . .	35
4.2.1	実験協力者 . . . . .	35
4.2.2	刺激 . . . . .	35
4.2.3	手続き . . . . .	35
4.2.4	装置 . . . . .	35
4.3	結果 . . . . .	36
4.3.1	読み速度 . . . . .	37



4.3.2	平均停留時間	38
4.3.3	停留数	39
4.3.4	平均順行サッカード長	40
4.3.5	平均行端所要幅	41
4.3.6	逆行による過剰停留数	42
4.3.7	改行運動中の過剰停留数	43
4.4	考察	45
4.4.1	読み速度と眼球運動の行長依存性	45
4.4.2	日本語電子リーダーの行長設計	47
4.5	小括	48
<b>第5章</b>	<b>改行の設計：文節間改行</b>	<b>49</b>
5.1	緒言	49
5.2	実験	50
5.2.1	実験協力者	50
5.2.2	刺激	50
5.2.3	手続き	51
5.2.4	装置	52
5.3	結果	52
5.3.1	読み速度	52
5.3.2	平均停留時間	54
5.3.3	停留数	55
5.3.4	改行運動中の過剰停留数	56
5.3.5	逆行による過剰停留数	57
5.3.6	平均順行サッカード長	58
5.3.7	1行を1停留で読む割合	59
5.4	考察	60
5.5	小括	61
<b>第6章</b>	<b>文字配置の設計 (I)：文節単位の階段状ベースライン</b>	<b>63</b>
6.1	緒言	63
6.2	提案手法：文節単位の階段状ベースライン	64
6.3	実験	64

6.3.1	実験協力者	64
6.3.2	刺激	64
6.3.3	手続き	66
6.3.4	装置	66
6.4	結果	66
6.4.1	読み速度	66
6.4.2	平均停留時間	68
6.4.3	停留数	69
6.4.4	逆行による過剰停留数	70
6.4.5	改行運動中の過剰停留数	71
6.4.6	平均順行サッカード長	72
6.4.7	1 文節あたりの停留率	73
6.5	考察	74
6.6	小括	75
<b>第 7 章</b>	<b>文字配置の設計 (II) : 文節単位の微振動テキスト</b>	<b>76</b>
7.1	緒言	76
7.2	提案手法 : 文節単位の微振動テキスト	76
7.3	実験	79
7.3.1	実験協力者	79
7.3.2	刺激	79
7.3.3	手続き	80
7.3.4	装置	80
7.4	結果	80
7.4.1	読み速度	80
7.4.2	平均停留時間	82
7.4.3	停留数	82
7.4.4	1 行を 1 停留で読む割合	86
7.4.5	1 文節あたりの停留率	86
7.5	考察	88
7.6	小括	89

<b>第 8 章 視点移動とスクロール操作の協調設計</b>	<b>90</b>
8.1 緒言 . . . . .	90
8.2 提案手法：階段インデント型単文節行レイアウト . . . . .	91
8.3 実験 . . . . .	91
8.3.1 実験協力者 . . . . .	91
8.3.2 刺激 . . . . .	91
8.3.3 手続き . . . . .	95
8.3.4 装置 . . . . .	95
8.4 結果 . . . . .	95
8.4.1 読み速度 . . . . .	95
8.4.2 平均停留時間 . . . . .	97
8.4.3 停留数 . . . . .	98
8.4.4 視点移動とスクロール操作 . . . . .	99
8.5 考察 . . . . .	102
8.5.1 読み速度の変化と要因 . . . . .	102
8.5.2 読みの特徴と課題 . . . . .	103
8.5.3 応用の可能性 . . . . .	104
8.6 小括 . . . . .	105
<b>第 9 章 読みの視知覚メカニズムにもとづく日本語電子リーダーの設計</b>	<b>106</b>
9.1 緒言 . . . . .	106
9.2 総合考察 . . . . .	110
9.3 小括 . . . . .	114
<b>第 10 章 結論</b>	<b>115</b>
<b>謝辞</b>	<b>118</b>
<b>参考文献</b>	<b>120</b>
<b>研究業績</b>	<b>132</b>

## 図一覧

2.1	網膜水平方向の相対視力分布．視力は視野の中心にあたる中心窩部分で特に高く，中心窩をはずれると急激に低下する．(T. Wertheim 「Über die indirekte Sehschärfe」 (Wer94) の図を改変)	6
2.2	眼球運動の例．横軸は水平方向の視線位置，縦軸は時間で上から下に経過．停留，サッカード，改行運動，逆行運動が確認できる	7
2.3	神部 (1994) による実験協力者 2 名の日本語文章中における注視点分布．2 名ともに文を構成する意味のまとまりと対応していることがわかる．(神部「眼球運動と読みの過程 IV：ひとつの注視でとらえる情報」 (神部 94) の図を改変)	11
2.4	O'Regan (1992) による読みの眼球運動の制御モデル (O'R92a)．(a) 単語内の最適停留位置近傍に停留できた場合は，次の単語に向かうサッカードが実行される．一方，(b) 単語内の最適停留位置から離れた位置に停留してしまった場合には，次の単語には移動せず，同一単語内のいま停留した場所とは反対側に停留するためのサッカードが実行される．(O'Regan 「Optimal viewing position in words and the strategy-tactics theory of eye movements in reading」 (O'R92a) の図を改変)	13
2.5	縦書き強調型整形規則による印刷結果．名詞や動詞，形容詞を強調している．(安原・小山「自然言語処理を用いた日本語文書自動整形システム」 (安原 95) の図を改変)	19
3.1	iPad の 2 つの表示モード．(a) 縦向きモード，(b) 横向きモード．	25
3.2	実験の様子．頭部に nac 社製の視線検出装置 EMR-9 を装着し，アームを介して机上に設置された iPad に表示される文章を読む実験協力者．	26
3.3	文章を読む眼球運動の模式図．停留 (fixation) と順行サッカード (forward fixation) を繰り返す，改行運動 (return sweep) によって行末から次行頭へ移る．	28

3.4	横書き文章を読者自身がタッチパネル操作で縦スクロールしながら読んだ場合の視線移動軌跡。縦スクロール操作で次々と行送りしながら読み進めるために、視線移動は画面中央における水平方向に集中する。 . . . . .	29
3.5	水平および垂直方向の視線移動と停留の抽出例。(a) 40 文字/行の刺激文章を読む場合、(b) 5 文字/行の刺激文章を読む場合。 . . . . .	30
3.6	行端所要幅の定義。最右停留点から行右端までの距離 $\delta_R$ と、行左端から最左停留点までの距離 $\delta_L$ を加算した距離を「行端所要幅 $\delta$ (fixation margin)」と定義する。 . . . . .	32
3.7	過剰停留の定義。逆行によって発生した停留を「逆行による過剰停留 (extra fixation by regression)」, 改行時に行頭へ 1 回のサッカードで到達できず追加で発生した停留を「改行運動中の過剰停留 (extra fixation in return sweep)」と定義する。 . . . . .	32
3.8	文節内で発生する再停留の各定義。(a) ある文節に対して 1 回目の停留である「初停留 (initial fixation)」, (b) 同じ文節内で、読み方向のサッカードによって発生した「順行再停留 (forward re-fixation)」, (c) 同じ文節内で、読みと逆方向のサッカードによって発生した「逆行再停留 (backward re-fixation)」. . . . .	33
4.1	固定長改行レイアウトの表示例。(a) 40 文字/行, (b) 20 文字/行, (c) 5 文字/行。 . . . . .	36
4.2	固定長改行レイアウトにおける、読み速度と行長の関係。誤差範囲は標準誤差。 . . . . .	37
4.3	固定長改行レイアウトにおける、平均停留時間と行長の関係。誤差範囲は標準誤差。 . . . . .	38
4.4	固定長改行レイアウトにおける、刺激文章 1000 文字あたりの停留数と行長の関係。誤差範囲は標準誤差。 . . . . .	39
4.5	固定長改行レイアウトにおける、平均順行サッカード長と行長の関係。誤差範囲は標準誤差。 . . . . .	40
4.6	固定長改行レイアウトにおける、平均行端所要幅と行長の関係。誤差範囲は標準誤差。 . . . . .	41

4.7	固定長改行レイアウトにおける、逆行運動による過剰停留数と行長の関係、 (a) 1 行あたりの逆行運動による過剰停留数、(b) 刺激文章 1000 文字あたりの逆行運動による過剰停留数、	42
4.8	固定長改行レイアウトにおける、改行運動中の過剰停留数と行長の関係、 (a) 1 行あたりの改行運動中の過剰停留数、(b) 刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数、	44
4.9	固定長改行レイアウトにおける、停留発生要因と行長の関係、(A) 所要停留数（過剰停留以外の停留数）、(B) 逆行によって発生した過剰停留数、(C) 改行運動中に発生した過剰停留数、	46
4.10	固定長改行レイアウトにおける、実験協力者が最も読みやすいと選択した行長の割合、	47
5.1	日本語電子リーダーの文章表示例、(A) 改行位置を文節間に設定した「文節間改行レイアウト」、(B) 一定の長さで改行する従来の日本語表記「固定長改行レイアウト」、1 行の基準文字数が 5 と 40 の場合、	51
5.2	文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、読み速度と平均行長の関係、誤差範囲は標準誤差、	52
5.3	文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、平均停留時間と平均行長の関係、誤差範囲は標準誤差、	54
5.4	文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、刺激文章 1000 文字あたりの停留数と平均行長の関係、誤差範囲は標準誤差、	55
5.5	文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、(a) 刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数および (b) 1 改行運動あたりの過剰停留数と平均行長の関係、誤差範囲は標準誤差、	56
5.6	文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、刺激文章 1000 文字あたりの逆行による過剰停留数と平均行長の関係、誤差範囲は標準誤差、	58
5.7	文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、平均順行サッカード長と平均行長の関係、誤差範囲は標準誤差、	59
5.8	文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、1 停留で読む行の割合と平均行長の関係、誤差範囲は標準誤差、	60

6.1	日本語電子リーダーの表示例. (A) 本章で提案する「文節単位の階段状ベースラインレイアウト」, (B) 評価基準として用いる「直線状ベースラインレイアウト」.	65
6.2	階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける, 読み速度と平均行長の関係, 誤差範囲は標準誤差.	67
6.3	階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける, 平均停留時間と平均行長の関係, 誤差範囲は標準誤差.	68
6.4	階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける, 刺激文章 1000 文字あたりの停留数と平均行長の関係, 誤差範囲は標準誤差.	69
6.5	階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける, 刺激文章 1000 文字あたりの逆行による過剰停留数と平均行長の関係, 誤差範囲は標準誤差.	70
6.6	階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける, 刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数と平均行長の関係, 誤差範囲は標準誤差.	71
6.7	階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける, 平均順行サッカード長と平均行長の関係, 誤差範囲は標準誤差.	72
7.1	「文節単位の微振動テキスト」における各文節の振動パターン. 文章を文節単位で区切り, 先頭から順に 4 グループに分け, 250 ms ずつタイミングをずらして振動させる. 改行位置は文節間である.	77
7.2	「文節単位の微振動テキスト」における各文節の振動パターン. 先頭から順に 4 グループに割り当てられた文節単位は, 250 ms ずつタイミングをずらして振動させる. 振幅は文字幅の 3% 分であり, 素早く右に動かして, ゆっくり左に戻す. 振動の周期は 1000 ms であり, 実験終了まで継続する.	78
7.3	「文節単位の微振動テキスト」における 1000 ms 間の文字移動軌跡. 振幅は文字幅の 3 % 分と微小であるが, 振動ははっきりと知覚される.	79
7.4	文節単位の微振動および静止テキストにおける, 読み速度と平均行長の関係, 誤差範囲は標準誤差.	81
7.5	文節単位の微振動および静止テキストにおける, 平均停留時間と平均行長の関係, 誤差範囲は標準誤差.	82
7.6	文節単位の微振動および静止テキストにおける, 刺激文章 1000 文字あたりの停留数と平均行長の関係, 誤差範囲は標準誤差.	83

7.7	文節単位の微振動および静止テキストにおける，刺激文章 1000 文字あたりの (a) 順方向のサッカードによる停留数および (b) 改行運動を含む逆方向のサッカードによる停留数と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．	84
7.8	文節単位の微振動および静止テキストにおける，(a) 刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数および (b) 1 改行運動あたりの過剰停留数と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．	85
7.9	文節単位の微振動および静止テキストにおける，1 行を 1 停留で読む割合と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．	87
8.1	「階段インデント型単文節行レイアウト」の表示手法．1 行が 1 文節となる位置で改行するとともに，行頭が傾斜をもつように各行のインデント量を増やしていき，次の段落の最初の文節で画面左端に戻すように設計した．行頭の傾斜角は，45 deg を選択した．また，段落途中の文において，もし文節を配置した場合に，文節の右端が画面右端から左に 1 文字分の位置にある基準線を越える場合には，画面左端ではなく当該行のインデント量を 8 行目と同じ値まで戻し，再び当該行を始点に行頭傾斜が 45 deg となるように各行のインデント量を増やすこととした．	92
8.2	「階段インデント型単文節行レイアウト」の表示例．	93
8.3	本章で検証した 3 種類の日本語電子リーダーの表示例．(a) 固定長レイアウト，(b) 単文節行レイアウト，(c) 階段インデント型単文節行レイアウト．固定長レイアウトは 5，11，20，29 文字/行の 4 段階の行長を準備した．	94
8.4	固定長レイアウト，単文節行レイアウト，階段インデント型単文節行レイアウトにおける，読み速度と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．	96
8.5	固定長レイアウト，単文節行レイアウト，階段インデント型単文節行レイアウトにおける，平均停留時間と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．単文節行レイアウト B と階段インデント型単文節行レイアウト C はほぼ同値でプロットが重なっている．	97
8.6	固定長レイアウト，単文節行レイアウト，階段インデント型単文節行レイアウトにおける，刺激文章 1000 文字あたりの停留数と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．	98
8.7	固定長レイアウト，単文節行レイアウト，階段インデント型単文節行レイアウトにおける，実験協力者 1 名の視点移動の変化．	100



8.8	一行 29 文字レイアウト N および階段状インデント型の単文節行レイアウト C における, サッカー長 $x$ 成分 (水平方向成分) の分布, 誤差範囲は標準誤差.	101
8.9	階段インデント型単文節行レイアウト C における視点移動方向の分布, 横書きの文章で文字を並べていく方向を 0 deg とする, 誤差範囲は標準誤差.	102
8.10	固定長レイアウト, 単文節行レイアウト, 階段インデント型単文節行レイアウトにおける, 実験協力者 1 名のスクロール操作の変化.	103
9.1	固定長改行レイアウト 【第 4 章】	106
9.2	文節間改行レイアウト 【第 5 章】	107
9.3	文節単位の階段状ベースラインレイアウト 【第 6 章】	107
9.4	文節単位の微振動テキスト 【第 7 章】	108
9.5	階段インデント型単文節行レイアウト 【第 8 章】	109
9.6	各手法における平均停留数の変化と平均行長の関係. (0) 縦書きページ型固定長改行, (1) 固定長改行, (2) 文節間改行, (3) 文節間改行+文節単位の階段状ベースライン, (4) 文節間改行+文節単位の微振動テキスト, (5) 単文節行+階段インデント. 誤差範囲は標準誤差.	111
9.7	各手法における読み速度の変化と平均行長の関係. (0) 縦書きページ型固定長改行, (1) 固定長改行, (2) 文節間改行, (3) 文節間改行+文節単位の階段状ベースライン, (4) 文節間改行+文節単位の微振動テキスト, (5) 単文節行+階段インデント. 誤差範囲は標準誤差.	112

## 表一覧

2.1	日本語電子リーダーの設計指針. . . . .	22
3.1	刺激文章の一覧. . . . .	24
3.2	刺激文章の割り当て例. 8 名の実験協力者が, 2 種類のレイアウト, およ び 3 段階の行長で読む場合. . . . .	26
3.3	実験条件の組み合わせ例. 表 3.2 の刺激文章の割り当てにもとづき, 8 名 の実験協力者が, 2 種類のレイアウト, および 3 段階の行長で読む場合. . . . .	27
6.1	文節単位の階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける, 1 文節 あたりの停留率の変化. 実験協力者 6 名, 改行せずに表示した 20 ~ 30 文 字程度の一文, 階段状および直線状ベースラインで各 20 文 (各約 93 文節) ずつ計測. . . . .	73
7.1	文節単位の微振動および静止テキストにおける 1 文節あたりの停留率の変 化. 実験協力者 9 名, 改行せずに表示した 20 ~ 30 文字程度の一文, 微振 動条件および静止条件で各 20 文 (各約 93 文節) ずつ計測. . . . .	87

# 第1章

## 序論

日本語文章の読みにおいて、効率よくスムーズに目を動かせば、計算上は1分あたり1200文字程度の速さで読むことができる。しかし、日本語の平均的な読み速度は1分あたり500～600文字と云われており、計算上の速さと平均的な速さには大きな開きがある。本研究では、この課題を解決する日本語電子リーダーの設計を試みる。

### 1.1 研究の背景

多くの情報が文字を介して伝達される現在、もし電子リーダーの工夫で「読み」を効率化できれば、その効果の大きさは計り知れない。理解度や読み心地を維持したまま速く読める仕組みによって、仕事の効率向上や読書の楽しみが広がる可能性がある。また、目の動きを支援する仕組みによって、既存の本では読みにくかった読者が、快適に読めるようになる可能性もある。

読みを効率化する電子リーダーの設計にあたっては、人間の視覚特性に起因する、読書中の眼球運動を考慮することが重要である。

人間の視野において、細かくはっきり対象物を見ることができる領域は中心部分に限られる。人間の網膜は中心部でもっとも解像力に優れ、周辺部では低下するという特徴をもつ (Wer94, Jon47, 菅阪 83)。そして、解像力の高い中心部はせまく、中心からおよそ 2.5 deg 離れると、視力は半分に低下してしまう (Wer94, Jon47, 菅阪 83)。細かな文字の識別には中心部の解像力を必要とするため (福田 78)、中心視野に収まらない長さの文字列を読むためには、眼球運動が欠かせない。

中心視野において文字を認識している注視状態は停留、次の停留点への移動運動はサッカードと呼ばれ、読書中は停留とサッカードが繰り返される (Ray89, 菅阪 93, 斎田 93, 神部 98)。停留中には、中心視で文字を認識すると同時に、周辺視で次の停留場所の選定を行う (Pou62, Hoc70)。単語内で最初に停留する場所は、英語のような表記上単語間にスペースを含む多くの言語において、単語中央からやや左とされる (Dun78, Ray79, McC88)。さらに、「単語内でもっとも再停留を必要としない停留場所」もしくは「もっとも早く単語を認知できる停

留場所」を最適停留位置とすると、その場所は単語の中央付近とされる (O'R84, O'R87, Vit90)。もし、最適停留位置から外れた場所に停留すると、同一単語内で再停留が発生しやすくなる (McC89, O'R92a, Vit95)。したがって、読み効率の向上には、視点を最適な位置へ次々と的確に移動しながら読むことが重要となる。

最適な位置への的確な視点移動にあたって、いったん表示した文章でも柔軟に変更できる電子リーダーの場合は、視点を固定したまま文字側を書き替えて読み進めるなど、読者の目の動きを電子リーダーで代替するような表示設計も可能となる。

視点移動を電子リーダーによる文字表示の切替で代替する仕組みのひとつに、Rapid Serial Visual Presentation (RSVP) と呼ばれる表示手法がある (For70)。RSVP は同じ場所にひとつの短文や単語を次々と切り替えながら表示していく手法であり、視点を大きく動かすことなく読み進められるその特徴から、読みの苦手な読者、視野欠損をもつロービジョンの読者、または画面の小さなデバイスに対して有益な表示手法とされる (Che86, Wil86, Rub94, Cas01, Leg07)。しかし、RSVP は読者が表示切替タイミングを制御することが難しく、自動的に次々と切り替わる短文や単語を読み続けるために極めて高い集中力が求められ、瞬目ですら読みの妨げとなる。そのために、速く読めたとしても心地よく感じた実験参加者はほとんどいなかったとの結果が報告されている (Rub92)。RSVP に関しては近年、視点を大きく動かすことなく読める長所を伸ばすべく、次々と表示される単語の最適停留位置を明示するとともに、最適停留位置が画面上の常に同じ場所となるように各単語の表示位置を左右に調整する手法が提案された (Mau14)。しかし、この新しい RSVP の手法も、通常の RSVP と比較して読み速度の向上は認められず、読みの負荷も増大する結果となっていた (Ben15)。

また、視点移動の代替のかわりに、視点移動を誘導する電子リーダーの仕組みも検討されている。例えば、日本語文章の先頭から末尾まで7文字ずつ区切ってチャンク化し、先頭のチャンクから順番に1回ずつ次々弾ませていくことで、弾むチャンクに視線を誘引しながら読ませる表示方式が提案されている (Kaw05)。この表示方式では、視線を誘引するマーカーが文章中の文字そのものであり、誘引に従って視点を移していくことで、一定の理解度を維持したまま通常表記の3.5～12倍の速さで読めたとの結果が報告されている (Kaw05)。しかし、次々と弾んでいくチャンクを目で追い続けなければならない、読者がその時々に関心したい箇所を読むための制御が困難という課題があった。

以上のように、読みを効率化する電子リーダーの仕組みとして、眼球運動の代替や強制的な視線誘導といった仕組みは発展途上にあった。

ここで、先に述べたように、停留中には中心視で文字を認識すると同時に、解像力の

低い周辺視で次の停留場所を選定している。このとき、周辺視ではどのような情報を獲得しているのだろうか。

英語のような単語間にスペースを表記する言語では、スペースによる単語間の視覚的な境界情報が、視点移動に対して重要な役割を担っているとされる (McC75, Pol82, Mor90, Ray98b)。そして、単語間のスペースを除いた場合には、30 ~ 50 %の読み速度低下を引き起こすとの結果が報告されている (Ray96a, Ray98b)。

一方、日本語文章の場合は、意味的なまとまりの最小単位である文節が停留場所に対応しているとされるが (神部 94, 中條 99)、仮名漢字が混合した日本語文章において、文節間にスペースを挿入しても、読み速度は向上しないとの結果が報告され (御領 87, 松田 01, 藤木 02, Sai07)、漢字仮名が混合する日本語文章においては、視覚的に目立つ漢字が区切りのはたらきをして次の停留場所を決める手掛かりとなっているために (Osa87, Osa89, Sai07)、文節間のスペース情報は冗長であるとされている (Sai07)。

しかし、既存の日本語組版には、まだ改善の余地が残されている。日本語文章における平均停留時間および平均サッカード距離はそれぞれ約 0.25 秒および約 5 文字であることから (斎田 93, 神部 98)、もしスムーズに次々と視点移動できれば、1 分あたり約 1200 文字の速度で読める可能性がある。しかし、日本語の平均的な読み速度は 1 分あたり 500 ~ 600 文字と云われており (斎田 04)、理想的な速度と平均的な速度は大きな差がある。この差が生まれる主な要因は、最適な位置への確に停留できないという、非効率な視点移動にあるとされる (山本 35, 斎田 04, Kaw05)。すなわち、日本語の一般的な漢字仮名が混合した文章においては、英語のような言語とは異なって、文節間のスペースが視点移動の手掛かりとして機能しないため、的確な視点移動を促すためには新たな仕組みが必要とされていた。

## 1.2 研究の目的

そこで本研究では、読み効率に影響をあたえる眼球運動を詳細に分析しながら、非効率な視点移動を減らす新たな文章表示手法を見出すとともに、電子リーダーへの効果的な適用を図るための設計について明らかにすることを目的とする。

電子リーダーは画面上に表示した文字を柔軟に変更できる特長をもつため、読み進めている最中に表示を変更したり、読者自身が文字を動かしながら読んだり、さらには文字に動きを付与したりすることも可能である。次の停留先を探している周辺視に対し、有益な情報を明示するために、このような電子リーダーの特徴を活用する。

### 1.3 本論文の構成

本論文は10章から構成され、その内容は下記の通りである。

**第1章**は序論であり、研究の背景と本論文の目的について述べる。

**第2章**では、人間の視知覚メカニズムや読みにおける眼球運動の特徴を述べるとともに、これまでの読みに関する研究、および電子リーダーに関する研究について概観する。さらに、本研究における電子リーダーの設計指針について述べる。

**第3章**では、本研究の実験協力者や刺激文章、実験手続きや実験装置および視線解析手法など、第4章から第8章の研究の基盤となる実験手法について述べる。

**第4章**では、日本語横書き文の電子リーダーの行長設計に関連して、行長変化が読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証する。

**第5章**では、日本語横書き文における改行位置が、読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証する。

**第6章**では、第5章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え、さらに文字ベースラインを文節ごとに階段状に下げていく手法によって文節単位の視認性を向上させるレイアウトを提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証する。

**第7章**では、第6章の階段状ベースラインレイアウトでは改善されなかった比較的短い行長の読み効率向上を図るべく、第5章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節ごとに異なる位相で文字を微振動させる表示方式を提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証する。

**第8章**では、第5～7章の手法では改善できなかった極めて短い5文字/行における読み効率向上を図るべく、指先のスクロール操作で発生する文字移動を眼球運動の一部ととらえ、各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式を提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証する。

**第9章**では、第4章から第8章までの各提案手法とその結果を総合的に分析し、文章を読み進める際に発生する非効率な視点移動の改善という観点から統一的に論じるなかで、電子リーダーへの効果的な適用を図るための設計について明らかにする。

**第10章**は結論であり、本論文で得られた成果について要約する。

## 第2章

### 読みに関する従来研究

本章では、人間の視知覚メカニズムや読みにおける眼球運動の特徴を述べるとともに、これまでの読みに関する研究および電子リーダーに関する研究について概観する。さらに、本研究における電子リーダーの設計指針について述べる。

#### 2.1 視覚基礎

人間の眼球は角膜部分が前方にやや突出した球形であり、外界からの光は角膜と水晶体を介して網膜上に結像する(渡部 75, Kath86, 篠森 07)。網膜は眼球内の広い範囲に分布しているために、眼球を動かさなくともかなり広い範囲を見ることができる。この見える範囲は視野と呼ばれ、視野の広さは左右に約 100 deg, 上方は約 65 deg, 下方は約 75 deg にもおよぶ(渡部 75)。しかし、この範囲を一様の鮮明さで見ることができるわけではない。

人間の網膜で高い解像力をもつ部分は中心窩と呼ばれる極めて狭い領域に限られ、中心窩を取り囲むように広がる網膜周辺部では大きく低下する(Wer94, Jon47)。その結果、視野内の視力分布は、一般に図 2.1 のような変化を示す。中心窩にあたる視野中心の視力は極めて高いが、視野中心から視角にして約 2.5 deg 離れると、視力は約半分まで低下する。そこで、対象物を詳細に見るためには、対象物の網膜像が中心窩上に位置するように、眼球を動かす必要がある。なお、対象を中心窩上で見ることは中心視、中心窩以外の網膜上で見ることは周辺視と呼ばれる。

視野内のある点からある点まで、注視点を高速に移動させる眼球運動はサッカードと呼ばれる。いったん発動したサッカードは途中で止めたり方向を変更したりできない(学阪 93)。サッカードの速度は 300 ~ 500 deg/s にもおよぶが(Gil11, 学阪 93)、サッカード中は視角系の知覚機能が著しく低下するサッカード抑制と呼ばれる状態になっており、サッカード中の網膜像の動きは知覚されない(塩入 93)。また、視覚刺激の呈示からサッカードが開始されるまでには、短くとも 150 ms 程度の潜時がある(Sal80, Ray83, Abr88)。

また、ゆっくり動く視対象の網膜像を中心窩付近に維持しながら、その動きにあわせて滑らかに低速度で動かす眼球運動は追従運動と呼ばれる。サッカードが視線から離れ



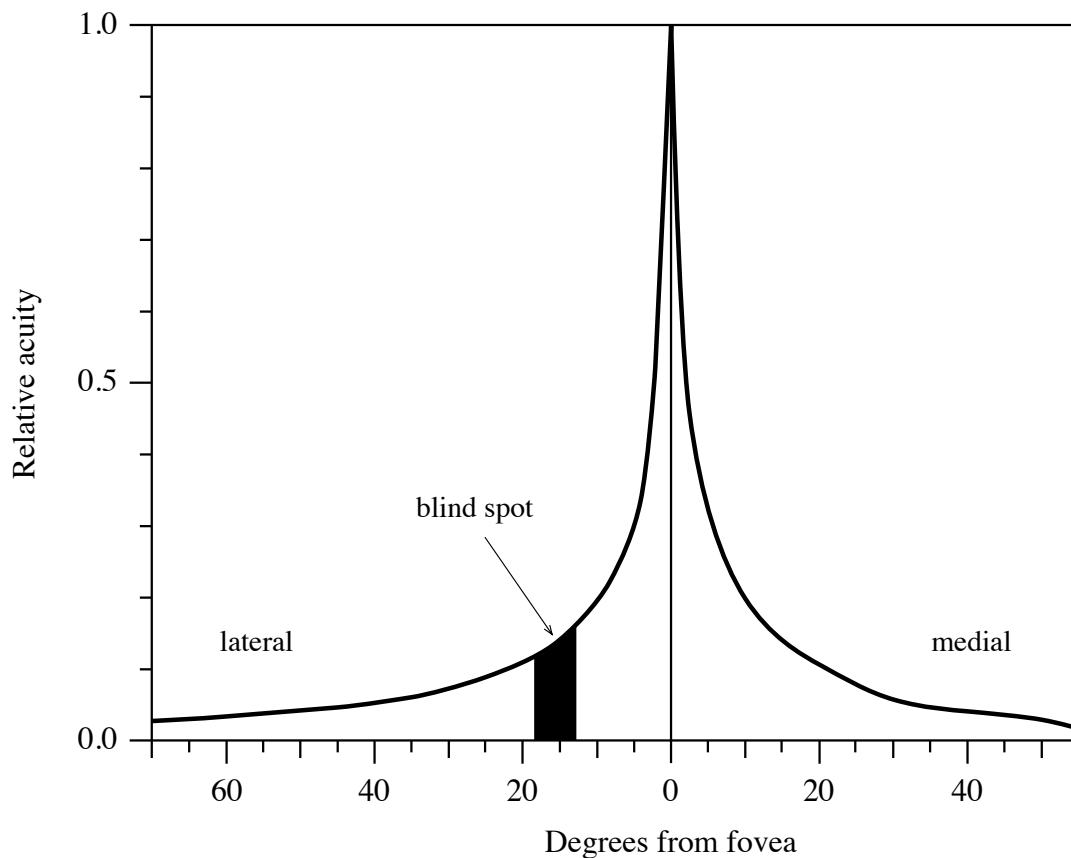


図 2.1 網膜水平方向の相対視力分布。視力は視野の中心にあたる中心窩部分で特に高く、中心窩をはずれると急激に低下する。(T. Wertheim 「Über die indirekte Sehschärfe」 (Wer94) の図を改変)

ている対象を中心窩上に捉える運動であるのに対し、追従運動は一度捉えた対象をそのまま保持する運動である。追従運動の速度は  $5 \sim 10 \text{ deg/s}$  以下 (山田 86, 山田 93), 最大でも  $30 \text{ deg/s}$  程度 (菅坂 93) とされ、これらの値よりも対象物の動きが速くなると、適宜サッカードが発生する。

## 2.2 読みにおける眼球運動の基本的特徴

図 2.1 に示したように、人間の視野は周辺部で解像力が低下している。細かな文字の識別には中心窩の解像力を必要とするため (福田 78), 中心窩に収まらない長さの文字列を読むためには、眼球運動が欠かせない。

読書中の眼球運動例を示したのが図 2.2 である。中心窩に捉えた文字を読み取っている状態は停留と呼ばれ、読書中は停留とサッカードが繰り返される。また、サッカードのう



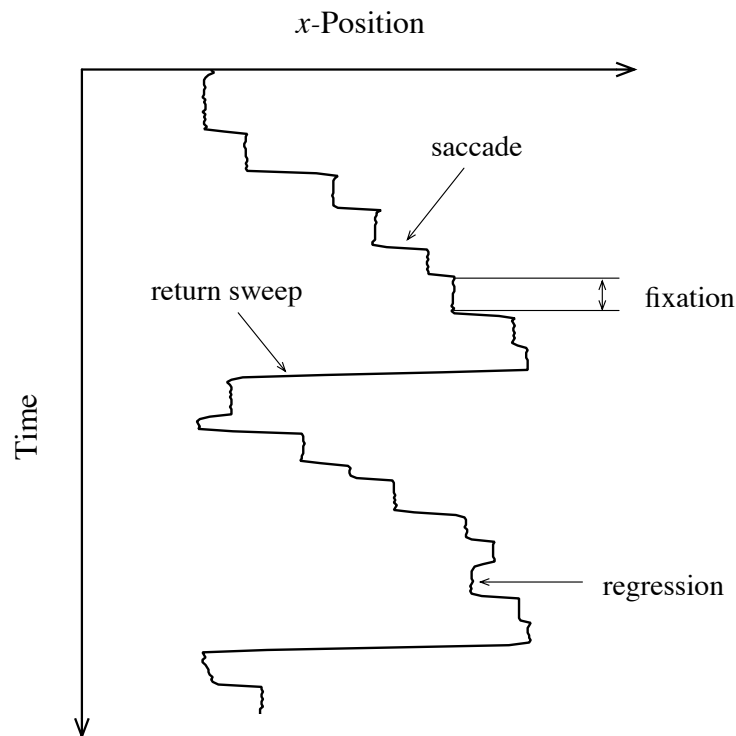


図 2.2 眼球運動の例。横軸は水平方向の視線位置，縦軸は時間で上から下に経過。停留，サッカード，改行運動，逆行運動が確認できる

ち，一度通り過ぎた場所に戻るサッカードは逆行運動，行末から次行頭へのサッカードは改行運動と呼ばれる。すなわち，読書中の眼球運動は，停留，サッカード，逆行運動，改行運動の4要素から構成されている（斎田 93, 神部 98）。

### 2.2.1 停留

漢字仮名が混合した日本語文章における停留場所は，読み進めている文を構成する意味のまとまりと対応しているとされる（神部 94）。停留時間の範囲は 100 ～ 400 ms で，平均は 200 ～ 300 ms と報告されている（山本 35, 樋渡 83, 神部 84, 神部 89, 池田 88, Osa92, 斎田 93）。

英語文章の読みにおいては，言語情報処理の最小単位は文字ではなく単語であり（Rei68），停留位置は単語上であることが多くスペース上や句読点上には少ないこと（Ray76），単語内で最初に停留する場所は単語中央もしくは単語中央からやや左であることが報告されている（Dun78, Ray79, McC88）。停留時間の範囲は 100 ms ～ 500 ms で，平均は 200 ～ 250 ms とされている（Ray89, Ray98a）。

停留時間の算出に関しては，停留状態のみの時間を算出する考え方と（Jus80），サッカードの時間を含めて算出する考え方があり（Irw98），議論が続いている（Ray98a）。停留中に読

み取った文字の語彙的処理は次のサッカード中にも抑制されないために (Irw98, Inh98), 読みの研究ではサッカード時間を停留時間を含むべきとの主張 (Irw98) は妥当とされているが (Ray98a), 現在も結論が出ていない。なお, 日本語文章におけるサッカード時間は, 停留時間が約 300 ms の場合に約 30 ms との報告がある (池田 88)。

### 2.2.2 サッカード

読書中のサッカードは視角ではなく文字に対応していることから (Mor81, Mor83, O'R83), 読書中のサッカードの長さは文字数を単位として報告されている。

漢字仮名が混合した日本語文章におけるサッカード長の範囲は 1 ~ 10 文字で, 平均は 4 ~ 6 文字とされる (樋渡 83, 神部 84, 神部 89, 池田 88, Osa89, Osa92, 斎田 93)。

英語文章におけるサッカード長の範囲は 1 ~ 15 文字で, 平均は 7 ~ 9 文字とされる (Ray89, Ray98a)。

### 2.2.3 逆行運動

逆行運動の発生要因は眼球運動の失敗にあるとされる (Ray98a)。多くの逆行は数文字分という非常に短いサッカードであり, 直前のサッカードが長過ぎた場合に発生しやすい (Vit98)。

漢字仮名が混合した日本語文章においては, 全サッカードに占める逆行の割合は 6 %程度と報告されている (神部 86, 神部 98)。

英語文章においては, 全サッカードに占める逆行の割合は 10 ~ 15 %とされるが (Ray98a), その割合は文章の難易度にも依存する結果が報告されている (Ray89)。

### 2.2.4 改行運動

行長が長くなると行末と行頭が離れるために, 正確な視点移動が難しくなるとされる (Ray12a)。改行運動においては, 1 回のサッカードでは行頭よりも手前に着地してしまい, 行頭方向に向けた短いサッカードが追加で発生する場合も多い (Abr72, Ray98a)。

## 2.3 読みの視知覚メカニズム

以上の読みににおける眼球運動の基本的特徴から, 読者は文章のなかから停留すべき場所をうまく見つけ出し, そこに視点を移動させて文字を読み取っていることがわかる。上手に視点を移動させるためには, ある場所を注視している間に, 次の移動先を適切に決

める必要がある。なぜなら、先に述べたように、サッカードは発動した後に止めたり方向を修正したりできず、移動中はサッカード抑制によって知覚機能も低下するためである。

そこで、次の移動先の情報もあわせて獲得していることが予想され、視野内でどの範囲までの情報が獲得されているか、その視野内でどのような情報を獲得しているか、どこにサッカードするのか、どのタイミングで情報を獲得しているのか等に着目し、検証されてきた。

### 2.3.1 有効視野の広さ

停留中には、どのくらいの範囲までの情報を獲得しているのだろうか。

日本語文章においては、有効視野の広さは約 10 ～ 12 文字 (Ike78, Ike79, 池田 88, 神部 89)、注視点から読み方向に約 5 ～ 6 文字と報告されている (Osa91, 芋阪 92)。また、漢字 1 文字の正誤判断実験からは、注視点から 5 文字の範囲で漢字細部の情報、注視点から 8 文字の範囲で漢字概形の情報を獲得できることが報告されている (松田 95)。さらに、有効視野の広さは左右非対称であり、読み進む方向に広いことが報告されている (Osa93)。

英語文章においては、注視点から約 5 ～ 6 文字までの範囲では文字の有無や意味的解釈が可能であり、注視点から約 10 ～ 12 文字までの範囲では単語長や単語形および単語の両端の文字の知覚が可能であることが報告されている (McC75, Ray75, Ray87)。また、有効視野の広さは左右非対称であり、読み進む方向に広いことが報告されている (McC76, Ray14)。さらに、有効視野は注視している行よりも下の行へは広がっていないことが示唆されている (Pol93)。

また、有効視野の広さを見積もる実験のなかで、視野を狭く制限した場合には、読み速度が低下し、サッカード長が短縮し、停留数と停留時間が増大する結果も報告されている (McC75, Ike78, Ray81, 神部 89, Osa91)。

以上より、有効視野の広さを 2.2.2 項でまとめたサッカードの長さと比較すると、日本語文章および英語文章ともに、少なくとも次の停留先の情報を得ながら読んでいると推察される。次の停留先の情報を獲得している視野範囲はプレビュー領域と呼ばれる (Ray87)。プレビュー領域は中心窩周辺部に位置しており、読みの研究においては近中心窩や傍中心窩または周辺視野と呼ばれることも多い (芋阪 93, 芋阪 98, 中條 99)。

### 2.3.2 プレビュー領域で獲得する情報

プレビュー領域ではどのような情報を獲得し、次の停留先を決めているのだろうか。

表記上単語間にスペースを有する言語では、停留した単語とその右にある単語がサッ

カードの長さに影響を与えることが報告されており (O'R79, O'R80, Ray79), プレビュー領域で獲得する単語間の視覚的な境界情報が, 視点移動に対して重要な役割を担っているとされる (McC75, Pol82, Mor90, Ray98b). スペースを除去したテキストでは読み速度が約 30 ~ 50 % 低下するとともに (Ray96a, Ray98b), 次の停留場所が単語の先頭方向へとずれる結果が報告されている (Ray98b).

一方, 漢字仮名が混合する日本語文章では, 単語や文節をスペースで分けることなく表記される. そして, 日本語の意味的まとまりの最小単位である文節の間にスペースを挿入しても, 読み時間は変化しないことが報告されている (御領 87, 松田 01, 藤木 02, Sai07). この原因は漢字と仮名文字の識別に要する空間周波数帯域幅の相違にあり (Osa92), プレビュー領域において視覚的に目立つ漢字が区切りのはたらきをして次の停留場所を決める手掛かりとなるために (Osa87, Osa89, Sai07), 漢字仮名が混合する日本語文章においてはスペース情報は冗長であるとされる (Sai07).

また, プレビュー領域で獲得される可能性のある情報として, 音韻情報や意味情報の獲得について検証されてきた. 音韻情報については, プレビュー領域で獲得されている可能性が指摘されている (Pol92, Hen95, Ray12b). 一方, 単語の意味情報については獲得されていない可能性が指摘されている (Ray86, Ray92). ただし, 平均約 12 文字の長さをもつフランス語の単語群を対象とした最適停留位置効果の実験では, 単語前半の 6 文字から後半の文字を予測可能な単語の場合, 読者の視線は単語の前半部分に停留した後, 単語の後半部分には停留することなく, 視線を次の単語へ移動する傾向もまた報告されている (Hyö89).

### 2.3.3 読みに適した停留場所

境界情報や漢字を手掛かりとし, どこにサックードし停留するのだろうか.

漢字仮名が混合する日本語文章では, 神部 (1994) が被験者が同じ文章を 100 回読んだ場合の停留位置を調べた結果, 図 2.3 に示すような分布が得られた (神部 94). この結果から, 漢字仮名が混合する日本語文章における停留場所は, 読み進めている文を構成する意味のまとまりと対応していると結論付けられた. また, 中條 (1999) は日本語文章における読み行為モデルを提案しており, 日本語文章の意味処理や視点移動は文節単位であるとした (中條 99).

一方, 表記上単語間にスペースを含む多くの言語において, 単語内で最初に停留する場所は, 単語中央からやや左であることが報告されている (Dun78, Ray79, McC88). さらに, 「単語内でもっとも再停留を必要としない停留場所」もしくは「もっとも早く単語を認知できる停留場所」を最適停留位置とすると, その場所は単語の中央付近にあることが報告

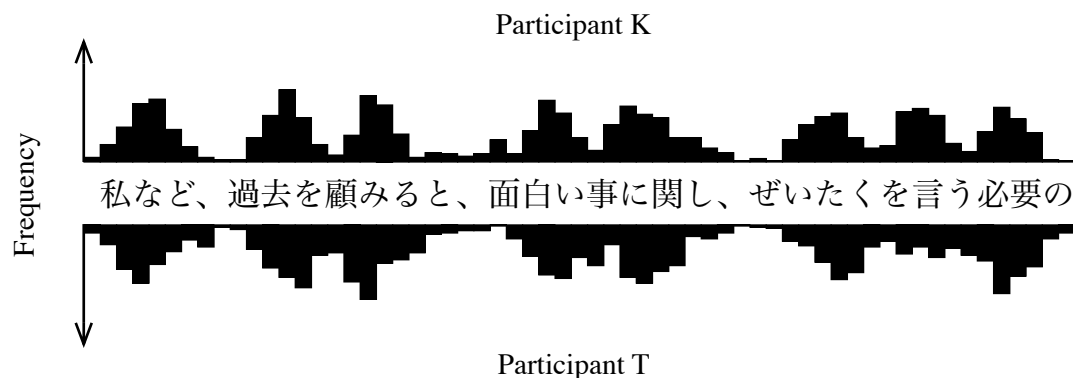


図 2.3 神部 (1994) による実験協力者 2 名の日本語文章中における注視点分布. 2 名ともに文を構成する意味のまとまりと対応していることがわかる. (神部「眼球運動と読みの過程 IV: ひとつの注視でとらえる情報」(神部 94) の図を改変)

されている (O'R84, O'R87, Vit90). この最適停留位置効果は, 英語 (McC88, McC89, Vit95, Ray96b), フランス語 (O'R84, Vit90, Naz91, O'R92b, Bry96), ドイツ語 (Rad93), フィンランド語 (Hyö95, Hyö11), ヘブライ語 (Deu99) など, 多くの言語で報告されている. 日本語においては, 平仮名の単語単体において確認されている (梶井 97, Kaj00), また, 最適停留位置の場所や回数は単語の長さによって変化し, 長い単語においては, 単語の先頭近くに 1 回目の停留を行った後, その単語の末尾に向かって 2 回目の停留を行う傾向も報告されている (O'R84, Hyö89, Ray92).

#### 2.3.4 情報獲得のタイミング

停留を開始した後, どのタイミングで文字を認識するのだろうか.

単語においては, 単語を呈示した一定時間後にマスキングする実験によって, 単語を見ていた時間が 50 ~ 60 ms であれば単語を認識できたことが報告されている (Ada79).

文章においては, 視線計測装置と表示装置の連動によって注視点周辺の視野を制限する移動窓法 (渡部 71, McC75, Ike78, 池田 88) を用いて視覚的マスキングの遅延時間を変化させた結果, 注視から視覚的マスキングがかかるまでに文字が 50 ms 以上呈示された場合はスムーズに読み進められており (Ray81), 読みに必要な視覚的情報の多くは注視開始から 50 ~ 100 ms 以内に獲得している可能性が報告されている (Sal80, Ray81, Ish89).

これらの値は 2.2.1 項において概ね 250 ms とされた平均停留時間に比べると短い, 2.1 節にて述べたように, 視覚刺激の呈示からサカードが開始されるまでには, 短くとも 150 ms 程度の潜時が, 別途, 必要である点に注意が必要である.

### 2.3.5 眼球運動の制御モデル

これまで見てきたように、有効視野内で獲得した視覚情報は、網膜中心窩による単語認識処理と、網膜周辺部のプレビュー領域における次の停留先の選定処理にわかれる(Ray12b, Ray89)。次の停留先へのサッカードは、周辺視処理にもとづいて計画され、実行されることとなる。

読みの眼球運動については、低次の視覚情報処理によって制御されるモデルがO'Regan (1992) より提案されている(O'R92a)。図2.4-(a)に示すように、単語内の最適停留位置近傍に停留し、次の単語の最適停留位置に向かってサッカードする動きが基本である。一方、図2.4-(b)に示すように、単語内の最適停留位置に停留できなかった場合には、同一単語内の別の場所に停留するためのサッカードが発生する。すなわち、O'Regan のモデルでは、単語内の最適停留位置近傍に停留できた場合は、次の単語に向かうサッカードが実行されるが、単語内の最適停留位置から離れた位置に停留してしまった場合には、次の単語には移動せず、同一単語内のいま停留した場所とは反対側に停留するためのサッカードが実行されることとなる。また、日本語文章の場合は、単語ではなく文節単位で制御されるモデルが提案されている(中條99)。

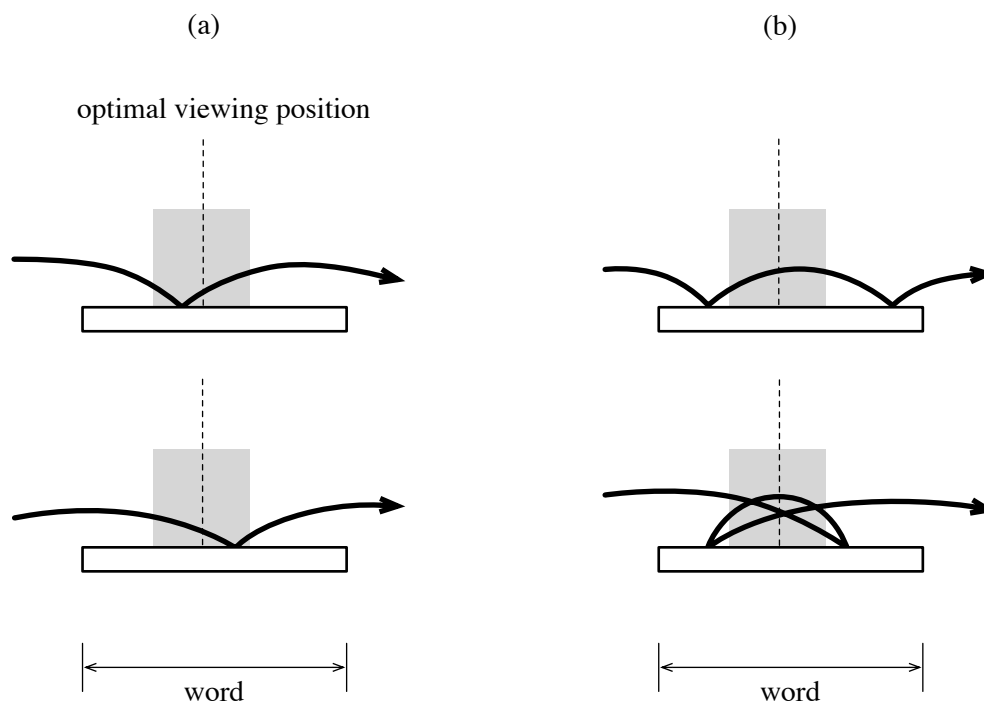
## 2.4 読みに影響をあたえる表記要素

文字の並べ方や色などの表記要素についても、読みへの影響が検証されてきた。

### 2.4.1 行長

行長が読みに影響を与えることは古くから知られており、読み速度の変化を中心に様々な結果が報告され、その最適な長さが議論されてきた。

例えば、紙への印刷物において、Weber (1881) は行長は長い方が良いとし、最短でも100 mm とした。一方で、Javal (1881) や Cohn (1883) は最適な行長を90 mm とし、効率よく容易に読むためには比較的短い行長が望ましいとした(See (Tin29))。また、Tinker と Paterson (1929) は速く読むための最適な行長の範囲は75 ~ 90 mm との結果を報告している(Tin29)。Huey (1908) は行長が長いほど周辺視による次行の先頭部分の認識精度が低下し、改行サッカードが不正確になること指摘した(Hue08)。日本語文章においては、田中(1916)が文字サイズ1 ~ 6号の印刷物について読み速度と眼球運動を測定し、小さな文字の場合は短行が有利だが、大きな文字の場合は長行が有利との結果を報告している(田中16)。また、草島と村石(1954)は縦書き横書きともに、25文字/行程度が最も読みや



**図 2.4** O'Regan (1992) による読みの眼球運動の制御モデル (O'R92a). (a) 単語内の最適停留位置近傍に停留できた場合は、次の単語に向かうサカドが実行される。一方、(b) 単語内の最適停留位置から離れた位置に停留してしまった場合には、次の単語には移動せず、同一単語内のいま停留した場所とは反対側に停留するためのサカドが実行される。(O'Regan 「Optimal viewing position in words and the strategy-tactics theory of eye movements in reading」 (O'R92a) の図を改変)

すいとの結果を報告している (草島 54)。

また、電子リーダーにおいて、Duchnicky と Kolers (1983) は回転つまみを使って走査線単位で垂直方向にスクロールする電子リーダーを用いて実験し、80 文字/行では 40 文字/行よりも 30 %速く読める結果を報告している (Duc83)。Dyson と Kipping (1998) もまた、画面を 1 ページ単位で切り替える電子リーダーと、キー操作で垂直方向に 1 行ずつスクロールする電子リーダーを用いて実験し、どちらの場合も 25 文字/行より 100 文字/行の方が読み速度は速いとの結果を報告している (Dys98)。一方で、Dyson と Haselgrove (2001) の研究では、キー操作で垂直方向に 1 行ずつスクロールする電子リーダーにおいて、55 文字/行の場合に、100 文字/行や 25 文字/行よりも効率よく読めるとの結果を報告している (Dys01)。Beymer (2005) らは Web ブラウザ上の読みを分析し、9 inch 幅 (約 120 文字/行) と 4.5 inch 幅 (約 60 文字/行) の行長では、9 inch 幅の場合に、読み速度はわずかに遅くなり逆行運動の頻度も増える結果を報告している (Bey05)。日本語文章にお

いては、石井と森田 (2013) がピクセル単位および行単位で垂直方向に自動スクロールする電子リーダーを用いて 5, 10, 20 文字/行の条件で実験し、ピクセル単位および行単位どちらの場合も、1 行の表示文字数が多いほど快適と感じる自動スクロール速度が速くなる結果を報告している (石井 13)。

これら研究をふまえた現在、長過ぎる行長では行末から行頭までの正確な改行サッカードが困難になる一方で、短過ぎる行長では本来 1 停留で認識可能な情報量に満たず十分な読み能力を発揮できないというトレードオフの関係が存在するために、それらの妥協点が最適な行長であるとされている (Ray89, Ray12a)。

#### 2.4.2 改行

現在の日本語文章の改行位置は、日本語組版の禁則処理をもとに、固定値や画面幅によって決定される場合が多い。しかし、話し言葉を字幕表示する先行研究では、意味的なまとまりを考慮しつつ文節間で改行すると、一定文字数で改行した場合よりも読みやすいとの結果も報告されている (村田 09)。

#### 2.4.3 行間

日本語文章では、文字高の 58 ~ 145 % 分の行間隔が読みやすいと報告されている (小川 78, 高柳 93)。一方、英語文章では、文字高の 25 ~ 33 % 分の行間隔が読みやすいとされる (Deg92)。

#### 2.4.4 わかち書き

2.3 節で述べたように、英語のような表記上単語間にスペースを有する言語では、スペースによる単語間の視覚的な境界情報が視点移動に対して重要な役割を担っており (Pol82, Ray96a)、単語間のスペースを除いた場合には、停留場所が単語認知がもっとも早くなる最適停留位置から単語の先頭方向へとずれて、30 ~ 50 % の読み速度低下を引き起こす結果が報告されている (Ray96a, Ray98b)。

一方、漢字仮名が混合する日本語文章では、単語や文節をスペースで分けることなく表記される。そして、日本語の意味的なまとまりの最小単位である文節の間にスペースを挿入しても、読み時間は変化しないことが報告されている (御領 87, 松田 01, 藤木 02, Sai07)。この原因は漢字と仮名文字の識別に要する空間周波数帯域幅の相違にあり (Osa92)、プレビュー領域において視覚的に目立つ漢字が区切りのはたらきをして次の停留場所を決める手掛



かりとなるために (Osa87, Osa89, Sai07), 漢字仮名が混合する日本語文章においてはスペース情報は冗長であるとされる (Sai07). しかし, 漢字のなかにも仮名文字に近い空間周波数帯域幅を有する文字が存在する上に, 漢字の出現間隔と文節の区切りは一致しておらず, 的確な視点移動のための手掛かりとしては課題も残っている.

#### 2.4.5 書体と文字形

セリフ体とサンセリフ体では, 一般的に用いられる書体で十分に読みやすく表示された場合には, 視認性や読み速度に差がないとされている (Ard05). 日本語書体においては, 字形の重心にばらつきが少ない書体の方が, 可読性が高いとの報告もある (小谷 11). また, 90 ppi 程度の低密度な電子ディスプレイ上に, 漢字仮名が混合した日本語文章を表示した場合は, サンセリフ体の方が, セリフ体よりも文章理解において成績がよかったことが報告されている (清原 03).

ここで, 例えば「alternating」を「AlTeRnAtInG」のように大文字小文字を交互に綴った文章の読みは, 何倍も遅くなることが報告されている (Lar04). また, 単語形状が類似しているように見える綴りの間違いは, 単語形状が異なって見える綴りの間違いよりも約2倍, 見落とされることが報告されている (Hab81, Mon83, Lar04).

また, 同一書体において, 横方向に縮めた長体, 縦方向に縮めた平体, および通常通りの真四角な正体の読みを比較すると, 長体は正体や平体よりも速く読める結果が報告されている (永野 64). ただし, この結果は字体の影響ではなく, 同一字間で並べた場合に, 長体の方が正体や平体よりも行長が短くなることが原因と推察されている (永野 64).

#### 2.4.6 背景色と文字色

日本語文章では, 背景色と文字色のコントラストが高いほど, 停留時間は短く, サッカードは長くなり, 可読性に優れる傾向が報告されている (齋藤 09). また, 白背景に黒文字, および黒背景に白文字の可読性を比較すると, どちらの組み合わせもコントラスト低下すると可読性も低下するが, 白背景に黒文字の方が可読性が低下しにくいとの結果が報告されている (齋藤 09).

英語文章においても, 白背景に黒文字が読みやすいとされている (Deg92).

### 2.4.7 縦書きと横書き

縦書きと横書きの読みにについては慣れの影響が大きく、どちらの読みにも慣れている場合には、読み速度に差が認められない傾向にある。縦書きと横書きの読みにについては、例えば次のような報告がある。

田中(1916)は、縦書きと横書きの読み速度について、慣れの影響が大きいことを指摘している(田中 16)。

草島と村石(1954)は、大学生を被験者として、縦書きと横書きにおける読み速度と眼球運動の差異を検証した結果、読み速度には差が認められず、眼球運動は横書きの方が停留数が多く、停留時間が短く、逆行数が多いことを報告している(草島 54)。

永野ら(1960)による縦書きと横書き読み速度の検証では、縦書きの方が横書きよりも速く読まれており、1960年当時の「現状における読書環境では、縦書きのものが横書きよりもはるかに多い」ことから、慣れの度合いが反映されたものと解釈している(永野 60)。

瀬川(1992)は、86名の大学生を被験者として、縦書き・横書き・斜め書きにおける読み速度を調査した結果、有意な差は認められなかったことを報告している(瀬川 92)。ただし、理解度においては、斜め書きで低下した結果を報告している。

## 2.5 読みと電子リーダー

電子リーダーは動的に表示を変更できる特徴をもっており、その特徴を活用した様々な表示手法が検討されてきた。

### 2.5.1 スクロール表示

スクロール表示は、右から左、または下から上へと、流れるように文字を表示する方法である(中條 98, 八木 10, 森田 07)。

横書き文章をスクロール表示する場合は、紙面と同様に複数行にわたる文章を垂直方向に移動させる「縦スクロール」と、1行で書かれた文章を文字の並び方向に移動させる「横スクロール」がある。また、移動させる単位として、横スクロールの場合は、電子画面上の「画素単位」や1文字または数文字ずつずらしていく「文字単位」があり、縦スクロールの場合もまた、電子画面上の「画素単位」や1行または数行ずつずらしていく「行単位」がある。近年の電子画面は、肉眼では認識できないほど高い画素密度をもち、画素単位のスクロール移動は極めて滑らかである。さらに、スクロール方式には、設定された速度に基づき電子リーダーが「自動」でスクロールする方式と、読者自身が読み

に応じて「手動」でスクロールさせる方式がある。

なお、現在では、スクロールしながら読むというと、マウスやタッチパネルを用いた「手動操作」によって、横書き文章を「画素単位」で「縦スクロール」しながら読み進めることを想像するが、過去のスクロール表示に関する文献は、「1文字単位」で「自動的に」スクロールする方式の実験結果であることが多く、比較には注意が必要である。

英語文章では、自動的に文字単位で横スクロールする文章を読む場合、快適と感じる自動スクロール速度は、通常の紙の印刷物で読む速度の約1/3に低下したことが報告されている (Sek82)。また、通常のページ形式で静止した文章を読む場合よりも理解が劣ることが報告されている (Gra84, Dys98)。さらに、自動的に画素単位で横スクロールする文章を読む場合、静止した文章を読む場合よりもサッカード長は約16%短く、停留時間は約9%長く、読み速度は約25%遅かったことが報告されている (Bue85)。

日本語文章では、CRT画面上を自動的に文字単位で横スクロールする文章を読む場合、文章の表示領域は7文字以上、自動スクロール速度は通常の読み速度よりも遅い190 ms/文字 (約320文字/分) 程度が望ましいと報告されている (中條93)。また、CRT画面上を自動的に画素単位で横スクロールする文章を読む場合スクロール速度の最適値は4～6文字/秒 (240～360文字/分) の範囲であったことが報告されている (窪田03)。そして、CRT画面上で自動的に横スクロールする文章では、画素単位のスクロールの方が、文字単位のスクロールよりも可読性に優れていることや (窪田03)、液晶画面上を自動的に画素単位で横スクロールする文章を読む場合は、スクロール速度が上昇するほど停留状態は減少し、追従運動が増加する傾向も報告されている (川上06)。

さらに近年の研究では、CRT画面上を自動的に画素単位で横スクロールする日本語文章を読む場合、読者が快適と感じる自動スクロール速度は画面上に同時に表示可能な文字数が多い方が速く、15文字表示できるとその速度は450文字/分に達するとともに、画面上に7～15文字程度の十分な表示文字数が確保されている場合は、読者が快適と感じる速度で表示されたスクロール文章の読みが、通常の読みと近い情報処理的特性をもつ可能性を指摘している (八木10)。また、CRT画面上を自動的に行単位と画素単位で縦スクロールする日本語文章を読む場合、画素単位の滑らかなスクロール表示の方が、行単位の不連続なスクロール表示よりも、快適と感じるスクロール速度が速かったことが報告されている (石井13)。

### 2.5.2 Rapid Serial Visual Presentation

一度に一箇所のみ1語から数語の単語を表示する手法はRapid Serial Visual Presentation (RSVP) と呼ばれる (For70, Aar77, Juo82, Pot83, Pot84, You84)。

視点を大きく動かすことなく読み進められる特徴から、RSVPは読みの苦手な読者、視野欠損をもつロービジョンの読者、または画面の小さなデバイスに対して有益な表示手法であることが報告されてきた (Che86, Wil86, Rub94, Cas01, Leg07)。一方で、RSVPには短文や単語を切り替えるタイミングを読者が都度制御することが難しいという課題がある。そのために、読書中は極めて高い集中力が求められ、瞬目ですら読みの妨げとなるなど、速く読めたとしても認知負荷の増大や理解度の低下、読み心地の低下をまねくことが報告されている (Bou74, Mas83, Coc84, Rub92)。RubinとTurano (1992)はRSVPでは2～4倍の読み速度向上が発現したにもかかわらず、そのような速い読み速度で心地よく感じた被験者はほとんどいなかったことを報告し、RSVPにおける読者が自由に読みを制御できるような仕掛けの必要性を指摘している (Rub92)。

RSVPに関しては近年、視点を大きく動かすことなく読める長所を伸ばすべく、次々と表示される単語の最適停留位置を明示するとともに、最適停留位置が画面上の常に同じ場所となるように各単語の表示位置を左右に調整する手法が提案された (Mau14)。しかし、この新しいRSVPの手法も、通常のRSVPと比較して読み速度の向上は認められず、読みの負荷も増大する結果となった (Ben15)。

このように、RSVPは長い歴史をもつ文章呈示手法であるが、改善すべき課題がまだ残されていると言える。

### 2.5.3 自然言語処理を用いた日本語文書自動整形システム

従来の日本語組版を読みやすくすべく、仮名漢字が混合した日本語文章に対して自然言語処理を適用し、単語や構文情報を考慮した整形規則を追加する日本語文書自動整形システムが提案されている (安原 95)。図2.5に示すように、特定の単語を大きくしたり、助詞を小さくしたりすることで、従来組版よりも読みやすさや自然さを出すことが可能になったとしている。

ただし、読み速度や眼球運動にもとづく定量評価はなされておらず、読みにあたる効果は未検証であった。

例えば 計算機については、  
一般的には 物理的特性の記  
述になるが、それだけなら  
ば 問題点は少ない。

図 2.5 縦書き強調型整形規則による印刷結果。名詞や動詞、形容詞を強調している。(安原・小山「自然言語処理を用いた日本語文書自動整形システム」(安原 95) の図を改変)

#### 2.5.4 速読支援メディア

視点移動を誘導する手法も検討されている。例えば、文章の先頭から末尾まで7文字ずつ区切ってチャンク化し、先頭のチャンクから順番に1回ずつ一定間隔で弾ませていくことで、視線を次々誘引しながら読ませる表示方式が提案されている(Kaw05, 川嶋 04)。この表示方式では、視線を誘引するマーカーが文章中の文字そのものであり、誘引に従って視点を移していくことで、一定の理解度を維持したまま通常表記の3.5～12倍の速さで読めるとの結果が報告されている。

しかし、次々と弾んでいくチャンクを目で追い続けなければならない、読者がその時々に見たい箇所を読むための制御が困難という課題があった。

## 2.6 日本語電子リーダーの設計指針

第2章では、人間の視知覚メカニズムや読みににおける眼球運動の特徴を述べるとともに、これまでの読みに関する研究、および電子リーダーに関する研究についてまとめた。本節では、従来研究について概観し、本研究が解決する課題と日本語電子リーダーの設計指針について述べる。

### 2.6.1 従来研究のまとめと課題

多くの情報が文字を介して伝達される現在、もし電子リーダーの工夫で「読み」を効率化できれば、その効果の大きさは計り知れない。小説や新聞、実用書や仕事の書類などを2～3倍の速さで読みたいとのニーズも報告されている(森田 15)。

読みを効率化する電子リーダーの設計にあたっては、人間の視覚特性に起因する、読書中の眼球運動を考慮することが重要である。人間の視野において、細かくはっきり見えるのは中心部分のみである。人間の網膜は視野の中心部でもっとも解像力に優れ、周辺部では低下するという特徴をもつ(Wer94, Jon47, 芋阪 83)。そして、解像力の高い中心部はせまく、中心からおよそ2.5度離れると、視力は半分に低下してしまう。細かな文字の識別には中心部の解像力を必要とするため(福田 78)、中心視野に収まらない長さの文字列を読むためには、眼球運動が欠かせない。

中心視野において文字を認識している注視状態は停留、次の停留点への移動運動はサッカードと呼ばれ、読書中は停留とサッカードが繰り返される(Ray89, 芋阪 93, 斎田 93, 神部 98)。停留中には、中心視で文字を認識すると同時に、周辺視で次の停留場所の選定を行う(Pou62, Hoc70)。単語認知が最も早くなる単語の中心付近の停留場所は、最適停留位置と呼ばれる(O'R84, McC89, Vit90, Naz91, Kaj00)。最適停留位置から外れた場所に停留すると同一単語内で再停留が発生しやすくなるために(McC89, O'R92a, Vit95)、読み効率の向上には、最適な位置への的確な視点移動が重要となる。

最適な位置への的確な視点移動にあたって、いったん表示した文章でも柔軟に変更できる電子リーダーの場合は、視点を固定したまま文字側を書き替えて読み進めるなど、読者の目の動きを電子リーダーで代替するような表示設計も可能となる。しかし、RSVPは読者が表示切替タイミングを制御することが難しく、自動的に次々と切り替わる短文や単語を読み続けるために極めて高い集中力が求められ、瞬目ですら読みの妨げとなる。そのために、速く読めたとしても心地よく感じた実験参加者はほとんどいなかったとの結果が報告されている(Rub92)。また、文字を弾ませることで視線を誘引する電子リーダーでは、次々と弾んでいくチャンクを目で追い続けなければならない、読者がその時々を読みたい箇所を読むための制御が困難という課題があった。このように、眼球運動の代替や強制的な視線誘導といった仕組みは発展途上にあった。

ここで、停留中には中心視で文字を認識すると同時に、解像力の低い周辺視で次の停留場所を選定している。英語のような単語間にスペースを表記する言語では、スペースによる単語間の視覚的な境界情報が、視点移動に対して重要な役割を担っているとされ

る (McC75, Pol82, Mor90, Ray98b). そして、単語間のスペースを除いた場合には、30 ~ 50 % の読み速度低下を引き起こす結果が報告されている (Ray96a, Ray98b). 一方、単語や文節をスペースで分けることなく表記する日本語文章では、日本語の意味的まとまりの最小単位である文節の間にスペースを挿入しても、読みは速くならないことが報告されている (御領 87, 松田 01, 藤木 02, Sai07). 漢字仮名が混合する日本語文章においては、周辺視野において視覚的に目立つ漢字が区切りのはたらきをして次の停留場所を決める手掛かりとなっているため (Osa87, Osa89, Sai07), 文節間のスペース情報は冗長であるとされた (Sai07).

しかし、既存の日本語組版には、まだ改善の余地が残されている。日本語文章における平均停留時間および平均サッカード距離はそれぞれ約 0.25 秒および約 5 文字と報告されていることから (斎田 93, 神部 98), もしスムーズに次々と視点移動できれば、1 分あたり約 1200 文字の速度で読める計算になる。しかし、日本語の平均的な読み速度は 1 分あたり 500 ~ 600 文字と云われており (斎田 04), 理想的な速度と平均的な速度は大きな差がある。この差が生まれる主な要因は、最適な位置への確に停留できないことによる、非効率な視点移動にあるとされる (山本 35, 斎田 04, Kaw05). すなわち、日本語の一般的な漢字仮名が混合した文章においては、英語のような言語とは異なって、文節間のスペースが視点移動の手掛かりとして機能しないため、的確な視点移動を促すためには新たな仕組みが必要とされていた。

### 2.6.2 日本語電子リーダーの設計指針

そこで本研究では、電子リーダーに表示される日本語文章において、文節の境界情報として機能するような新たな仕組みを導入し、読み心地や理解度を維持したまま、文節単位の効率のよい視点移動の実現を目指すこととした。評価指標は表 2.1 の通りである。

実験では、眼球運動を詳細に分析しながら、読み速度が向上するように、順行サッカード長を伸ばすように、過剰停留を減らすようにと、文字の並べ方や動き、文字色や背景色、文字サイズやフォントなど、様々なパラメータをひとつずつ変更できる実験装置を組み、効果検証を重ねた。その結果、見出された手法が、**第 5 章**の「改行位置を文節間に設定したレイアウト」、**第 6 章**の「改行位置を文節間に設定する手法に加え、さらに文字ベースラインを文節ごとに階段状に下げていくレイアウト」、**第 7 章**の「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節ごとに異なる位相で文字を微振動させる表示方式」、**第 8 章**の「指先のスクロール操作で発生する文字移動を眼球運動の一部ととらえ、各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」である。

表 2.1 日本語電子リーダーの設計指針.

評価指標	改善指針
・ 読み速度	増加
－ 飛ばし読み	飛ばさず全部読むこと
－ 読み心地	低下しないこと
－ 文章内容の理解度	低下しないこと
・ 眼球運動（停留時間）	短縮
・ 眼球運動（停留数）	削減
－ 順行サッカード長（停留間隔）	伸長
－ 逆行数（逆行による過剰停留数）	削減
－ 改行運動の失敗数（改行運動中の過剰停留数）	削減
－ 1 文節あたりの停留数	1 回以下
－ 1 文節内の再停留率	減少

次章より、それら実験および結果の詳細について述べる。



## 第3章

# 実験方法

本章では、本論文で共通する実験方法について述べる。

### 3.1 実験協力者

実験協力者は大学生とし、各実験への参加経験や、実験結果に関する予備知識をもたない大学生を募集した。実験協力者は、文書による募集要項と実験説明を読んだ上で被験に応募し、実験参加前には実験実施者から口頭による詳細な実験説明を受け、合意の上で実験協力者となった。

実験時間は 60 ～ 90 分程度であり、実験協力者の健康状態に配慮しながら実施した。

実験協力者は、晴眼視野かつ裸眼または矯正によって、画面に表示される文字を判別可能な視力を有し、良好に眼球運動の計測が可能であった。

### 3.2 刺激

#### 3.2.1 テキスト

刺激文章は、知識の有無による読みへの影響を抑えるために、文章の表記や表現および物語の構造がわかりやすく読みやすいが、物語に必ずオチがあり、どの実験協力者にとっても文章を読み飛ばさずに全て読まないと内容が把握できない短編小説を採用した。本論文では星新一氏のショートショート作品を刺激文章とし、表 3.1 に示す 1 話の文字数が約 1700 ～ 2900 字の 35 話を用いた。なお、刺激文章内の文節は、国立国語研究所による文節化則<sup>(西川 06)</sup>を参考に抽出した。

文章のレイアウトは横書きとし、全角文字を文字間隔 0 で並べるベタ組みを採用した。フォントは「ヒラギノ角ゴシック ProW3」、文字サイズは 4.4 mm、行間は 1.6 mm、文字色は黒、背景色は白とした。

表 3.1 刺激文章の一覧.

時代	臨終の葉	女性アレルギー
お祈り	フィナーレ	拳銃の感触
開業	なぞめいた女	個性のない男
紙片	遠距離通勤時代	ふしぎなネコ
クリスマス・イブの出来事	けちな願い	ねらった金庫
秘薬と用法	協力的な男	ある商品
オリンピック2064	第一部第一課長	違和感
人質	怪盗X	新しがりや
記念写真	極秘の室	新しい症状
ある商売	なわばり	おかバさま
依頼	感謝の日々	頭の大きなロボット
副作用	妙な幽霊	

### 3.2.2 電子リーダー

電子リーダーは、横書きテキストが上下に画素単位でスクロールする「縦スクロール型」を採用し、タッチパネル操作可能なタブレット型端末上で動作させた。タッチパネル操作は、上下方向のスクロール操作のみ有効とし、左右方向のスクロール操作やテキスト選択操作、ピンチ操作は無効とした。

タブレット型端末は Apple 社製「iPad」を採用し、画面サイズは対角 9.7 inch、画面縦横比は 4:3、画面解像度は 264 ppi であった。iPad には横向きと縦向きの 2 つの表示モードが存在する。図 3.1-(a) が「縦向きモード」および図 3.1-(b) が「横向きモード」であり、各実験内でいずれかに統一した。

### 3.3 視線検出装置

実験協力者の眼球運動は、nac Image Technology 社製の視線検出装置「EMR-9」を用いて 1/60 s 間隔で計測した。眼球運動の測定範囲は水平方向に  $\pm 40$  deg、垂直方向に  $\pm 20$  deg であり、分解能はともに 0.1 deg であった<sup>(NAC09)</sup>。各視線データに含まれるノイズやエラーは、同 nac 社製のアイマークデータ解析ソフトウェア「EMR-dFactory」の付属機能である「パルスカット法<sup>(NAC09)</sup>」および「エラー拡張処理<sup>(NAC09)</sup>」を用いて、解析前に除去した。

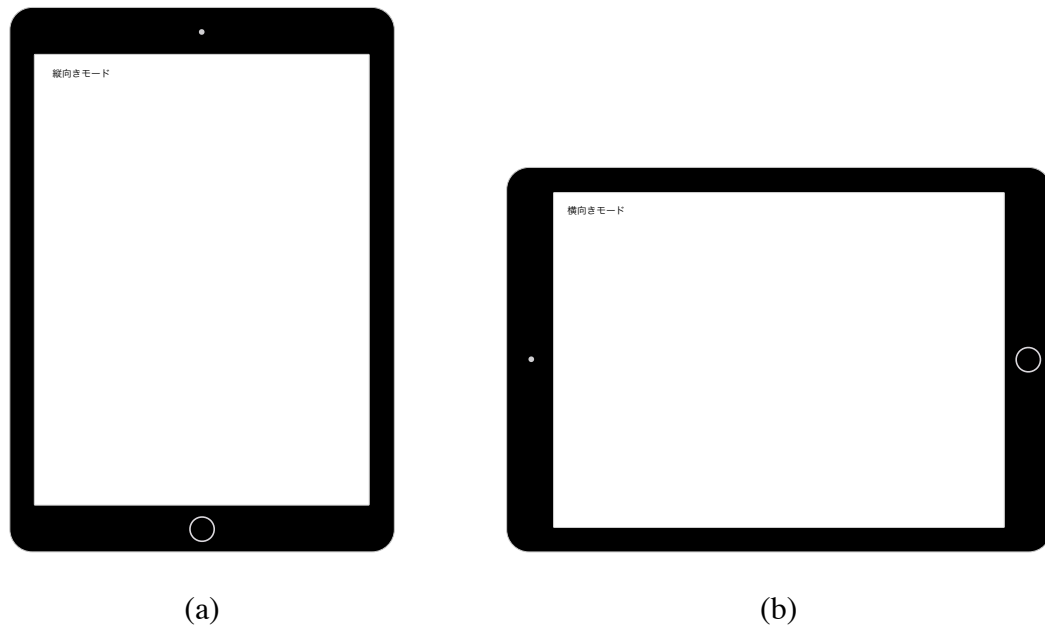


図 3.1 iPad の 2 つの表示モード. (a) 縦向きモード, (b) 横向きモード.

### 3.4 手続き

各実験条件と刺激文章を変更しながら、眼球運動と読み速度を計測した。

実験協力者は、図 3.2 に示すように頭部に視線検出装置を装着し、白色蛍光灯が点灯された部屋に着席した。そして、アームを介して机上に設置された iPad を、実験協力者自身が最も読みやすいと感じる距離と角度に調整して固定した後、iPad に表示される各文章を実験協力者自身が指先でスクロール操作しながら黙読した。

実験協力者あたり 1 話 1 回のみの閲覧に制限するとともに、読む文章や読む順番を含む実験条件の組み合わせが実験協力者間で重複しないようにあらかじめ調整した。表 3.2 および表 3.3 に、8 名の実験協力者、2 種類のレイアウト、3 段階の行長、8 種類の刺激文章における刺激文章の割り当てと実験条件の組み合わせ例を示す。

電子リーダーの読み方や実験の手続きに慣れた状態で読み速度や眼球運動を測定するために、実験協力者は各行長の読みと 1 回の予備実験を、本実験前に経験した。予備実験は、読後の質問を含めて本実験と全く同じ状況下、かつ実験協力者には予備実験であることを告知せずに実施した。また、飛ばし読みの抑制や理解度を確認するための施策として、熟読や暗記をしなくとも、飛ばし読みをせずに読めば答えられる程度の簡単な質問を、刺激文章を読み終えた直後に毎回出題することを実験前に教示し、読後に実施した。



図 3.2 実験の様子。頭部に nac 社製の視線検出装置 EMR-9 を装着し、アームを介して机上に設置された iPad に表示される文章を読む実験協力者。

表 3.2 刺激文章の割り当て例。8 名の実験協力者が、2 種類のレイアウト、および 3 段階の行長で読む場合。

	Layout A			Layout B		
	Length <sub>5</sub>	Length <sub>20</sub>	Length <sub>40</sub>	Length <sub>5</sub>	Length <sub>20</sub>	Length <sub>40</sub>
Participant A	Text <sub>A</sub>	Text <sub>B</sub>	Text <sub>C</sub>	Text <sub>D</sub>	Text <sub>E</sub>	Text <sub>F</sub>
Participant B	Text <sub>B</sub>	Text <sub>C</sub>	Text <sub>D</sub>	Text <sub>E</sub>	Text <sub>F</sub>	Text <sub>G</sub>
Participant C	Text <sub>C</sub>	Text <sub>D</sub>	Text <sub>E</sub>	Text <sub>F</sub>	Text <sub>G</sub>	Text <sub>H</sub>
Participant D	Text <sub>D</sub>	Text <sub>E</sub>	Text <sub>F</sub>	Text <sub>G</sub>	Text <sub>H</sub>	Text <sub>A</sub>
Participant E	Text <sub>E</sub>	Text <sub>F</sub>	Text <sub>G</sub>	Text <sub>H</sub>	Text <sub>A</sub>	Text <sub>B</sub>
Participant F	Text <sub>F</sub>	Text <sub>G</sub>	Text <sub>H</sub>	Text <sub>A</sub>	Text <sub>B</sub>	Text <sub>C</sub>
Participant G	Text <sub>G</sub>	Text <sub>H</sub>	Text <sub>A</sub>	Text <sub>B</sub>	Text <sub>C</sub>	Text <sub>D</sub>
Participant H	Text <sub>H</sub>	Text <sub>A</sub>	Text <sub>B</sub>	Text <sub>C</sub>	Text <sub>D</sub>	Text <sub>E</sub>

読書中は、視線検出装置 EMR-9 のモニタ画面に視野と視線を表示し、飛ばし読みせずに読んでいることを常に確認した。また、刺激文章に関して、もし以前に読んだ経験のある作品であった場合は、気付いた時点で実験実施者に報告するように教示した。以前

**表 3.3** 実験条件の組み合わせ例. 表 3.2 の刺激文章の割り当てにもとづき, 8 名の実験協力者が, 2 種類のレイアウト, および 3 段階の行長で読む場合.

		Number of trials					
		1	2	3	4	5	6
Participant A	Layout A	→	→	Layout B	→	→	
	Length <sub>5</sub>	Length <sub>20</sub>	Length <sub>40</sub>	Length <sub>5</sub>	Length <sub>20</sub>	Length <sub>40</sub>	
	Text <sub>A</sub>	Text <sub>B</sub>	Text <sub>C</sub>	Text <sub>D</sub>	Text <sub>E</sub>	Text <sub>F</sub>	
Participant B	Layout A	→	→	Layout B	→	→	
	Length <sub>40</sub>	Length <sub>20</sub>	Length <sub>5</sub>	Length <sub>40</sub>	Length <sub>20</sub>	Length <sub>5</sub>	
	Text <sub>D</sub>	Text <sub>C</sub>	Text <sub>B</sub>	Text <sub>G</sub>	Text <sub>F</sub>	Text <sub>E</sub>	
Participant C	Layout B	→	→	Layout A	→	→	
	Length <sub>5</sub>	Length <sub>20</sub>	Length <sub>40</sub>	Length <sub>5</sub>	Length <sub>20</sub>	Length <sub>40</sub>	
	Text <sub>F</sub>	Text <sub>G</sub>	Text <sub>H</sub>	Text <sub>C</sub>	Text <sub>D</sub>	Text <sub>E</sub>	
Participant D	Layout B	→	→	Layout A	→	→	
	Length <sub>40</sub>	Length <sub>20</sub>	Length <sub>5</sub>	Length <sub>40</sub>	Length <sub>20</sub>	Length <sub>5</sub>	
	Text <sub>C</sub>	Text <sub>H</sub>	Text <sub>G</sub>	Text <sub>F</sub>	Text <sub>E</sub>	Text <sub>D</sub>	
Participant E	Layout A	Layout B	Layout A	Layout B	Layout A	Layout B	
	Length <sub>5</sub>	→	Length <sub>20</sub>	→	Length <sub>40</sub>	→	
	Text <sub>E</sub>	Text <sub>H</sub>	Text <sub>F</sub>	Text <sub>A</sub>	Text <sub>G</sub>	Text <sub>B</sub>	
Participant F	Layout A	Layout B	Layout A	Layout B	Layout A	Layout B	
	Length <sub>40</sub>	→	Length <sub>20</sub>	→	Length <sub>5</sub>	→	
	Text <sub>H</sub>	Text <sub>C</sub>	Text <sub>G</sub>	Text <sub>B</sub>	Text <sub>F</sub>	Text <sub>A</sub>	
Participant G	Layout B	Layout A	Layout B	Layout A	Layout B	Layout A	
	Length <sub>5</sub>	→	Length <sub>20</sub>	→	Length <sub>40</sub>	→	
	Text <sub>B</sub>	Text <sub>G</sub>	Text <sub>C</sub>	Text <sub>H</sub>	Text <sub>D</sub>	Text <sub>A</sub>	
Participant H	Layout B	Layout A	Layout B	Layout A	Layout B	Layout A	
	Length <sub>40</sub>	→	Length <sub>20</sub>	→	Length <sub>5</sub>	→	
	Text <sub>E</sub>	Text <sub>B</sub>	Text <sub>D</sub>	Text <sub>A</sub>	Text <sub>C</sub>	Text <sub>H</sub>	

に読んだ経験のある刺激文章による計測データは棄却し, 文章を変更して再計測した.

読後の理解度の確認においては, ひとつの質問でオチまで全て回答する実験協力者もいれば, ひとつひとつの質問に短く端的に回答する実験協力者もいるため, 訊問形式ではなく, 会話の流れのなかで物語の骨格やオチに関して質問し, 文章の内容や展開の要点を正しく説明できた場合に理解できているとした. 質問に答えられなかった場合の計測データは棄却し, 文章を変更して再計測した.

各手法の効果検証には, 対応のある  $t$  検定を採用し, 両側 5 %水準で有意性を判断した. 探索的な特性を含む実験であったため, 第一種の過誤の調整を行わないこととした.

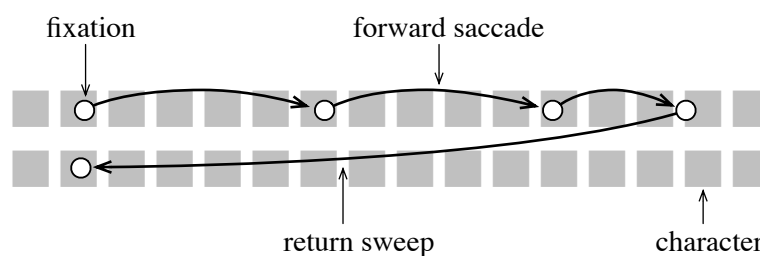


図 3.3 文章を読む眼球運動の模式図. 停留 (fixation) と順行サッカード (forward fixation) を繰り返し, 改行運動 (return sweep) によって行末から次行頭へ移る.

## 3.5 解析

視線データの分析手法と用語の定義について述べる.

### 3.5.1 停留の抽出と補正

第2章で述べたように, 読書中の眼球運動は図3.3に示すような停留とサッカードの繰り返しである. そこで本論文では, サッカードの発生を基準として, 停留点を抽出することとした.

ただし, 文字をスクロールしながら読む電子リーダーでは, スクロール移動する文字に視線を追従させながら読む目の動きも観察される<sup>(川上 06)</sup>. そのような追従運動も本論文では停留に含めることとした. 先行研究より, 追従運動速度は  $5 \sim 10 \text{ deg/s}$  以下<sup>(山田 86, 山田 93)</sup>, サッカード速度範囲は  $40 \sim 400 \text{ deg/s}$ <sup>(Gil11)</sup> と報告されていることから, 本論文では速度しきい値を  $15 \text{ deg/s}$  に設定し, 停留の開始および終了の判定を行った.

図3.4は, 実験協力者1名が, 横書き文章を指先のタッチパネル操作で縦スクロールしながら読んだ場合の視線移動軌跡を示す. 縦軸は水平方向の視角, 横軸は垂直方向の視角である. 縦スクロール操作で次々と行送りしながら読み進めているために, 視線移動は画面中央に集中する.

また, 図3.5は, 40文字/行および5文字/行の刺激文章を閲覧する実験協力者1名の視線移動と, 抽出された停留点, 注視している行の番号を示したものである. 縦軸は水平方向および垂直方向の視角, 横軸は経過時間である. 図3.5より, 本論文で採用した停留抽出条件によって, 視線移動軌跡から停留点を良好に抽出できていることがわかる.

ただし, 図3.5-(b)に示すように, 短い行長では長い持続時間をもつ停留が抽出される場合がある. 縦スクロール型電子リーダーでは, 文字側を上下にスクロール移動するこ

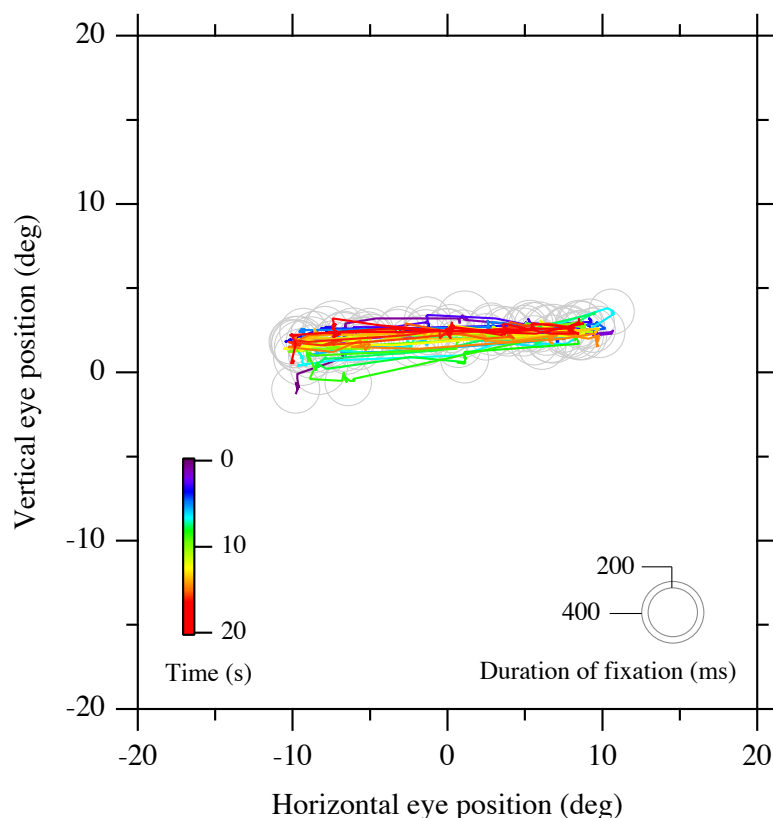


図 3.4 横書き文章を読者自身がタッチパネル操作で縦スクロールしながら読んだ場合の視線移動軌跡。縦スクロール操作で次々に行送りしながら読み進めるために、視線移動は画面中央における水平方向に集中する。

とで、眼を動かさずに前後の行を読めるという特徴をもつために、ある行を読む停留と、その次の行を読む停留との間に、サッカードが発生しないことがある。その場合、サッカード発生を基準とする本論文の停留抽出条件では、連続したひとつの長い持続時間をもつ停留として抽出されてしまう。

そこで本論文では、停留を抽出した後に、視線を固定したままスクロール操作によって読み進めた行を算出し、1行あたり1停留したものとして停留数を補正した。例えば図3.5-(b)において、2行目から4行目までは、ほぼ視点を固定したままスクロール操作で読み進めている。そのために、本論文の停留抽出条件である  $15 \text{ deg/s}$  の速度しきい値を超えず、2行目から4行目までの読みで抽出される停留数は計1回となる。このとき、本論文では、視線を固定したままスクロール操作によって読み進めた3行目と4行目にも個別に停留したと見なして、停留数を計3回と補正する。



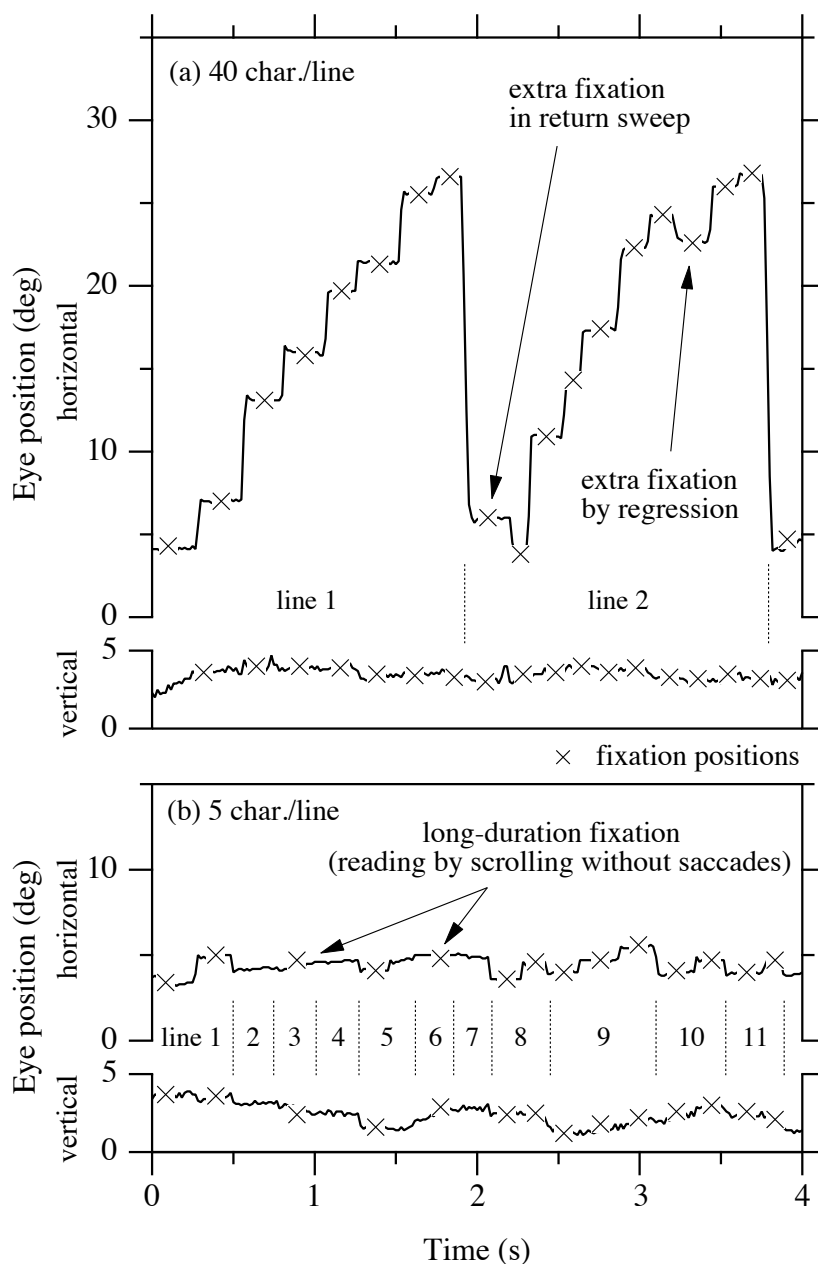


図 3.5 水平および垂直方向の視線移動と停留の抽出例. (a) 40 文字/行の刺激文章を読む場合, (b) 5 文字/行の刺激文章を読む場合.

### 3.5.2 停留時間の定義

本論文では、停留時間にサッカード時間を含めた。2.2.1 項で述べたように、読みの研究では停留時間にサッカード時間も含める考え方も妥当とされる (Irw98, Inh98, Ray98a)。また、本論文で用いる視線検出装置の計測間隔は 16.7 ms であり、約 30 ms<sup>(池田 88)</sup> と報告されている日本語文章中のサッカード時間を考慮すると、サッカード時間の正確な算出は難し



い。さらに、3.5.1 項で述べたように、本論文では、停留したままスクロール操作で複数行を読み進めた場合に、1 行あたり 1 停留したものとして停留数を補正しているが、補正された停留との間にはサッカードが発生しないために、補正停留間の正確な時間配分や、サッカード時間に相当するスクロール移動時間の切り分けも難しい。

以上の理由から、本論文では停留時間にサッカード時間を含めて扱うこととし、1 刺激文章あたりの読み時間を 1 刺激文章あたりの全停留数で除算した時間、すなわち、停留開始から次の停留開始までの平均時間を「平均停留時間」と定義した。

### 3.5.3 順行サッカード長の定義

読書中に発生するサッカードのうち、文字の並びに沿った方向へ移動するサッカードは順行サッカードと呼ばれる。本論文では、1 刺激文章の読書中に発生する全てサッカードから順行サッカードのみを抽出し、それらの平均距離を「平均順行サッカード長」として採用した。

### 3.5.4 行端所要幅の定義

行内のもっとも左の停留場所およびもっとも右の停留場所は、それぞれ行の端よりも少し内側となる。本論文では図 3.6 に示すように、最右停留点から行右端までの距離と、行左端から最左停留点までの距離を加算した距離を「行端所要幅」と定義し、その平均距離の変化を分析した。なお、1 行に 1 停留のみの場合は、最左停留点と最右停留点を同一として、行端所要幅を算出した。

行端所要幅の意味としては、図 3.6 に示すように各行を横一列に並べて考えると、行末から行頭への改行運動によって読み進む文字数、または、視点を固定したまま 1 行分のスクロール操作で読み進む文字数と捉えることができる。

### 3.5.5 過剰停留の定義

読書中の停留とサッカードの繰り返し運動のなかで、2.2 節で述べたように、一度通り過ぎた場所に視点を戻す読み動作は「逆行運動」、行末から次行頭に移る動作は「改行運動」と呼ばれる。

効率良くなめらかに読む場合は、逆行の発生は 0 回、改行運動も 1 回のサッカードで完了することから、本論文では図 3.7-(a) に示すように「逆行によって発生した停留」および図 3.7-(b) に示すように「改行運動時に、行頭に 1 回のサッカードで到達できず、追

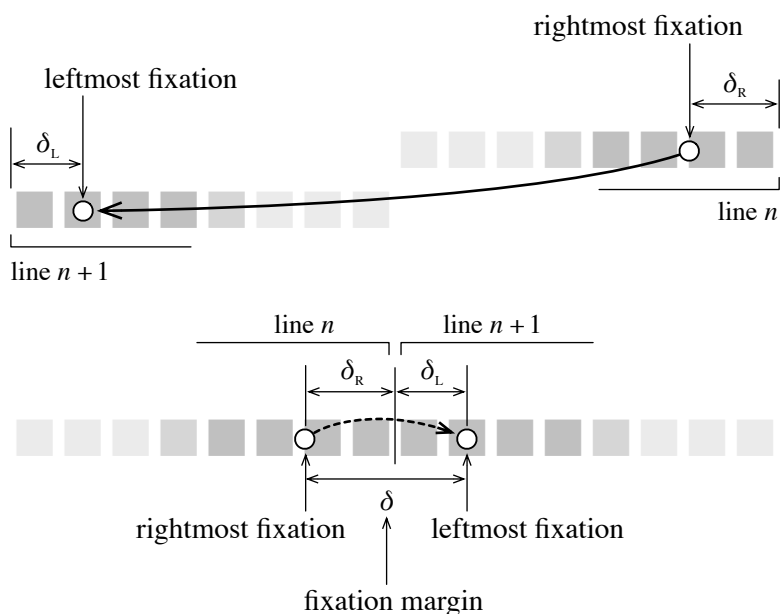


図 3.6 行端所要幅の定義. 最右停留点から行右端までの距離  $\delta_R$  と, 行左端から最左停留点までの距離  $\delta_L$  を加算した距離を「行端所要幅  $\delta$  (fixation margin)」と定義する.

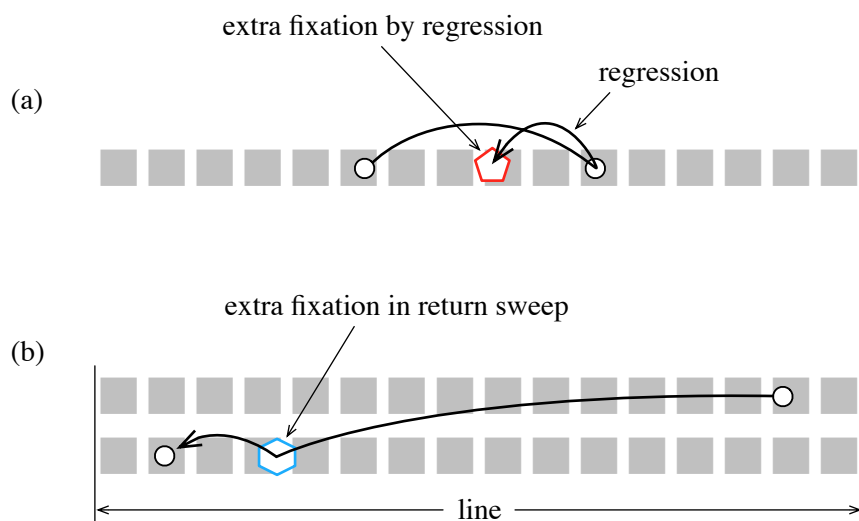


図 3.7 過剰停留の定義. 逆行によって発生した停留を「逆行による過剰停留 (extra fixation by regression)」, 改行時に行頭へ 1 回のサッカードで到達できず追加で発生した停留を「改行運動中の過剰停留 (extra fixation in return sweep)」と定義する.

加で発生した停留」を過剰停留と定義し, それぞれ「逆行による過剰停留」および「改行運動中の過剰停留」と呼ぶ. 理想的な読みでは, 逆行による過剰停留および改行運動中の過剰停留ともに 0 となる.

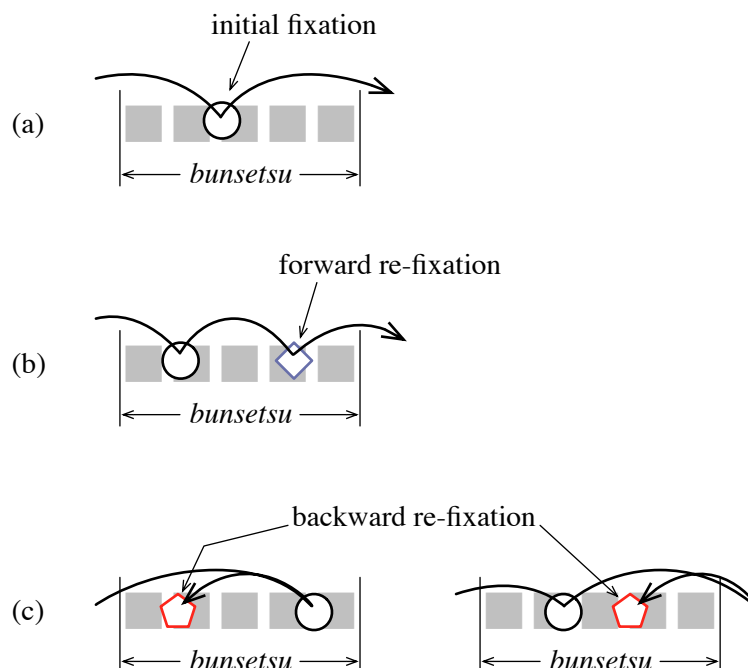


図 3.8 文節内で発生する再停留の各定義。(a) ある文節に対して1回目の停留である「初停留 (initial fixation)」, (b) 同じ文節内で、読み方向のサッカードによって発生した「順行再停留 (forward re-fixation)」, (c) 同じ文節内で、読みと逆方向のサッカードによって発生した「逆行再停留 (backward re-fixation)」。

図 3.5-(a) の視点移動軌跡においても、1 行目から 2 行目に至る改行運動中に過剰停留が発生していること、2 行目の後半で逆行による過剰停留が発生していることがわかる。なお、1 行の基準文字数 5 における過剰停留については、視点移動の距離が短く逆行運動と改行運動を区別できなかったため、本論文では分析から除外した。

### 3.5.6 文節内再停留の定義

日本語文章中の停留場所は、従来研究の 2.3.3 項で述べたように、文節に対応しているとされる。そこで本論文では、文節内の停留数変化や視点移動方向を分析した。

まず、ある文節に対して、1 回目の停留を「初停留」と定義した。さらに、同じ文節内で再度停留した場合、その停留を「再停留」と定義した。また、再停留のうち、読みの順方向のサッカードによって発生した再停留を「順行再停留」、読みと逆方向のサッカードによって発生した再停留を「逆行再停留」と定義した。図 3.8 に「初停留」「順行再停留」「逆行再停留」の例を示す。

## 第4章

### 行長の設計

非効率な視点移動を減らす表示手法を検討するにあたって、まずは日本語の既存組版における視点移動の課題を見出すこととした。本章では、日本語横書き文における行長変化が読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証する。

#### 4.1 緒言

第2章で述べたように、人間の視野は、解像度の高い中心視野と、そのまわりの解像度の低い周辺視野から構成されている。文字の認識には高い解像度を必要とするため、人間は中心視野を移動させながら文章を読み進めていく。中心視野において文字を認識している注視状態を停留、次の停留点への移動運動はサッカードと呼ばれ、読書中は停留とサッカードが繰り返される。

このような読みの眼球運動に対して大きな影響を与える表示要素のひとつに「行長」がある。1行の長さが読みに影響を与えることは古くから知られており、2.4.1項で述べたように、読み速度の変化を中心に様々な結果が報告され、その最適な長さが議論されてきた (Hue08, Tin29, 田中 16, Duc83, 草島 54, Dys98, Dys01, Bey05, 石井 13)。これら研究をふまえた現在、長過ぎる行長では行末から行頭までの正確な改行サッカードが困難になる一方で、短過ぎる行長では本来1停留で認識可能な情報量に満たず十分な読み能力を発揮できないというトレードオフの関係が存在するために、それらの妥協点が最適な行長であるとされている (Ray89, Ray12a)。

しかし、その一方で、逆行や改行運動の失敗等は読み速度に大きな影響をあたえないという報告がある (草島 54)。また、2段階の行長のみの測定であるが、逆行の頻度も行長依存性をもつとの報告がある (Bey05)。さらに、未検証であるが、正確な改行サッカードが困難になる長い行長の欠点は、長い行長ほど改行数が減少する利点によって打ち消されているとの指摘もある (Dys04)。すなわち、読み速度と眼球運動の行長依存性の実態については研究途上にあり、電子リーダーの改善設計にあたって指針となる定量的な基礎知見が不十分であった。

そこで本章では、非効率な視点移動を減らす表示手法を検討するにあたって、まずは日本語文章が既存の組版で表示される縦スクロール型電子リーダーを対象に、行長の変化がもたらす読み速度および眼球運動への影響を詳しく検証することとした。

## 4.2 実験

行長と刺激文章を変更しながら、読み速度と眼球運動を計測した。本論文で共通する実験条件や手続きに関しては、第3章を参照されたい。

### 4.2.1 実験協力者

大学生31名（男性19名、女性12名、年齢19～23歳）が実験に参加した。

### 4.2.2 刺激

図4.1に示すように、全角文字を文字間隔0で並べて所定の文字数で改行する一般的な日本語レイアウト（以後「固定長改行レイアウト」と呼ぶ）を準備し、横向きモードのiPad上に描画された。1行あたりの文字数を5, 11, 20, 29, 40の5段階とし、改行時の禁則処理は句読点と括弧のみを対象とした。

刺激文章は星新一氏のショートショート作品とし、1話の文字数が2500字程度の40話を用いた。

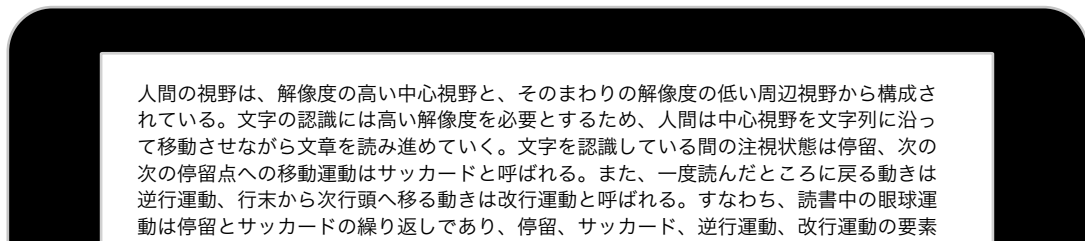
### 4.2.3 手続き

実験協力者31名について、行長5段階と刺激文章を変更しながら、眼球運動と読み速度を計測した。

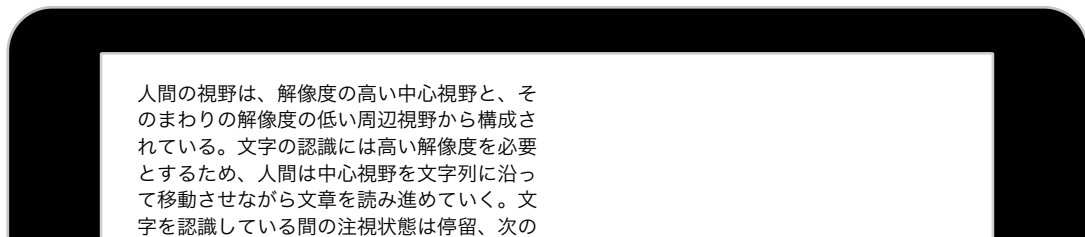
### 4.2.4 装置

実験協力者の眼球運動は、視線検出装置EMR-9を用いて計測した。

(a) 40 char./line



(b) 20 char./line



(c) 5 char./line



図 4.1 固定長改行レイアウトの表示例. (a) 40 文字/行, (b) 20 文字/行, (c) 5 文字/行.

### 4.3 結果

行長変化が読み速度と眼球運動にもたらす影響を検証するために、本章ではまず、読み速度と平均停留時間および停留数の変化について分析した。次に、停留数の増減に影響する、平均順行サッカード長、平均行端所要幅、および過剰停留数について分析した。

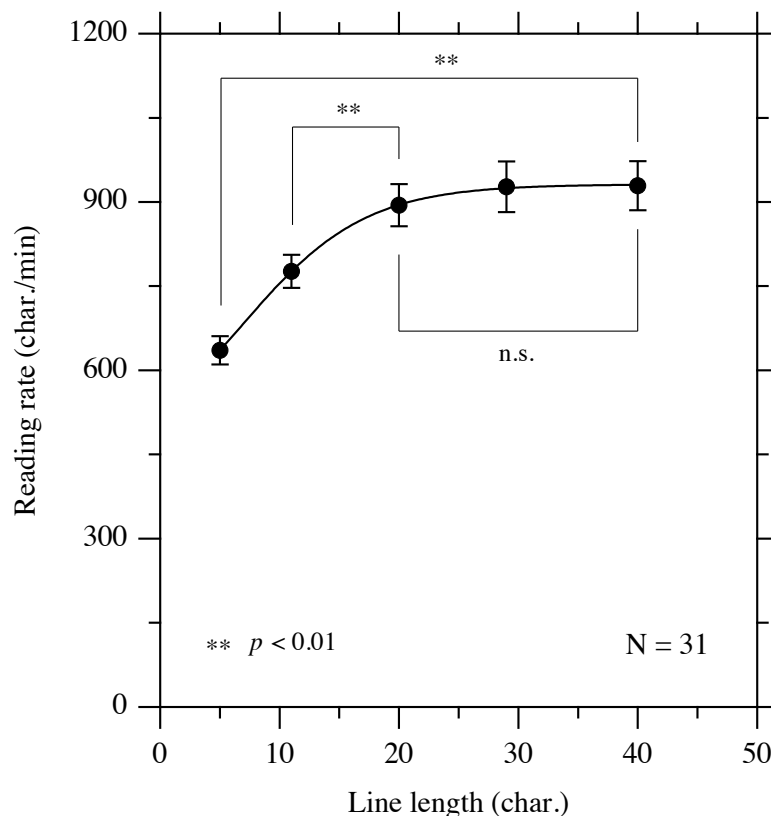


図 4.2 固定長改行レイアウトにおける，読み速度と行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

#### 4.3.1 読み速度

図 4.2 は，読み速度と行長の関係を示したものである．縦軸は読み速度，横軸は行長，誤差範囲は標準誤差である．

読み速度は，行長の伸長に伴って増加する傾向が認められた．5 文字/行の平均  $635 \pm 25$  文字/分 (S.E.;  $N=31$ ) に対して，40 文字/行では平均  $929 \pm 44$  文字/分 (S.E.;  $N=31$ ) と 1.5 倍に増加し，その差は  $t[30] = 8.68$ ,  $p < 0.01$  と両側 5 %水準で有意であった．ただし，読み速度は 20 文字/行付近で上限に達する傾向にあり，20 文字/行と 40 文字/行の読み速度の差は有意であると言えなかった．

以上より，読み速度は行長依存性を有し，行長が長くなるほど増加するが，20 文字/行付近で上限速度に達する傾向が認められた．この傾向は，日本語文章における読み速度の行長依存性に関する先行研究<sup>(草島<sup>54</sup>)</sup>の傾向と，概ね一致する傾向が認められた．

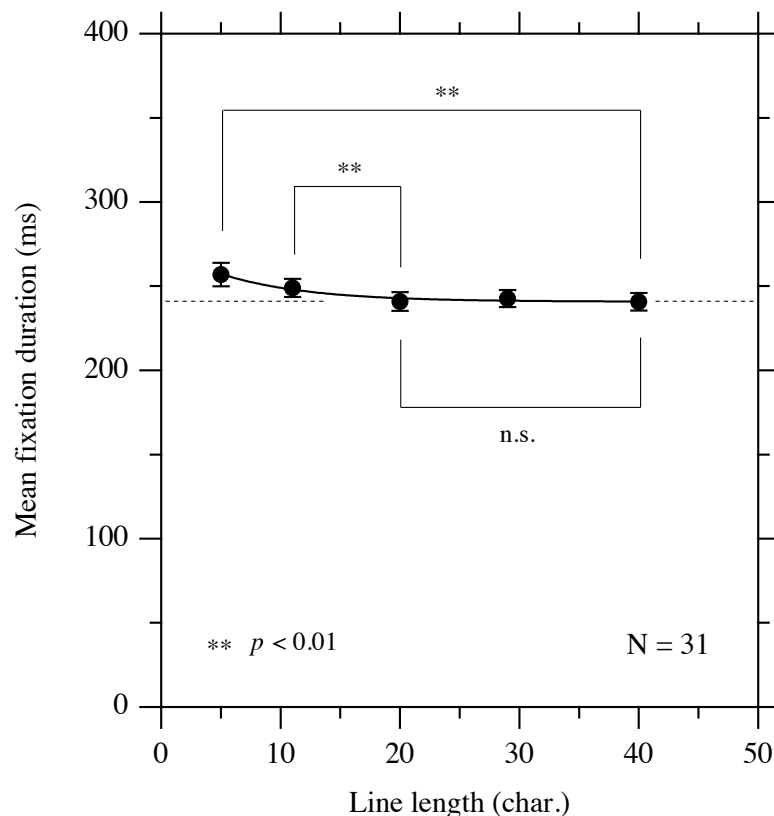


図 4.3 固定長改行レイアウトにおける，平均停留時間と行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

#### 4.3.2 平均停留時間

図 4.3 は，平均停留時間と行長の関係を示したものである．縦軸は平均停留時間，横軸は行長，誤差範囲は標準誤差である．

平均停留時間は，行長の伸長に伴って減少する傾向が認められた．5 文字/行の平均  $257 \pm 7$  ms (S.E.;  $N=31$ ) に対して，40 文字/行では平均  $240 \pm 5$  ms (S.E.;  $N=31$ ) と 0.94 倍に減少しており，その差は  $t[30] = 3.24$ ,  $p < 0.01$  と両側 5 %水準で有意であった．ただし，平均停留時間は行長の伸長に伴って一定値に収束する傾向にあり，20 文字/行と 40 文字/行の平均停留時間に有意な差があると言えなかった．

以上より，平均停留時間は行長依存性を有し，行長が長くなるほど減少するが，20 文字/行付近で一定値に収束することがわかった．収束値は約 240 ms であり，先行研究にて報告されている停留時間（100 ～ 400 ms の範囲，ピークは 150 ～ 250 ms<sup>(神部 98)</sup>）とサッカード時間（行内で 40 ～ 70 ms の範囲<sup>(斎田 93)</sup>）の加算値 190 ～ 320 ms と比較すると，概ね一致する傾向が認められた．



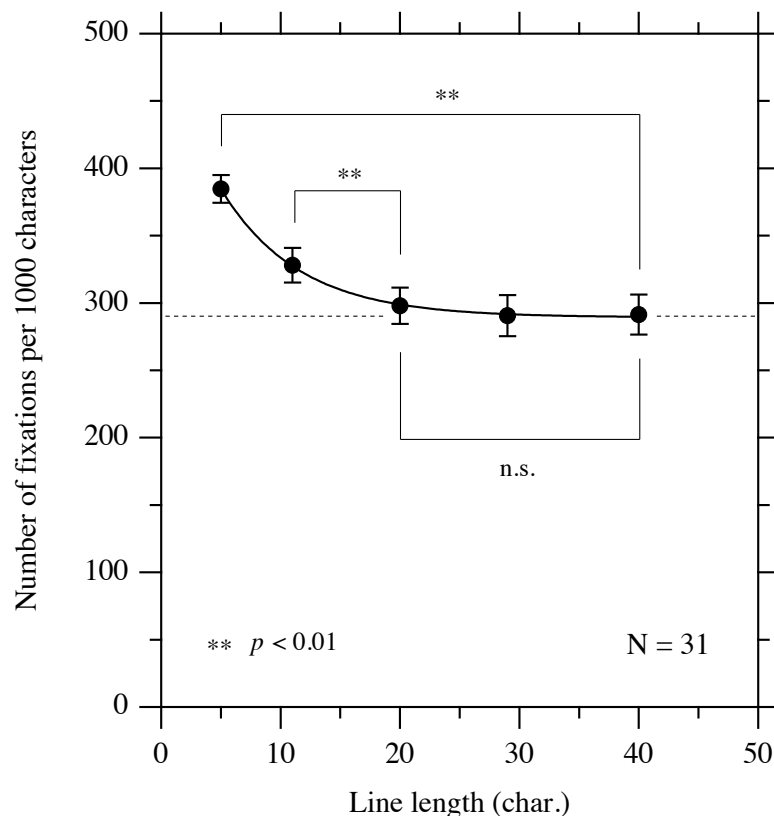


図 4.4 固定長改行レイアウトにおける，刺激文章 1000 文字あたりの停留数と行長の関係，誤差範囲は標準誤差。

### 4.3.3 停留数

図 4.4 は，1 刺激文章あたりの停留数と行長の関係を示したものである．1 刺激文章あたりの停留数の比較には，1000 文字で正規化した値を用いた．縦軸は刺激文章 1000 文字あたりの停留数，横軸は行長，誤差範囲は標準誤差である．

停留数は，行長の伸長に伴って減少する傾向が認められた．5 文字/行の平均  $385 \pm 10$  回/1000 文字 (S.E.;  $N=31$ ) に対して，40 文字/行では平均  $291 \pm 15$  回/1000 文字 (S.E.;  $N=31$ ) と 0.76 倍に減少しており，その差は  $t[30] = 9.49$ ,  $p < 0.01$  と両側 5 %水準で有意であった．ただし，停留数は行長の伸長に伴って一定値に収束する傾向にあり，20 文字/行と 40 文字/行の停留数に有意な差があると言えなかった．

以上より，停留数は行長依存性を有し，行長が長くなるほど減少するが，20 文字/行付近で一定値に収束することがわかった．本論文で用いた刺激文章の場合，停留数の収束値は約 290 回/1000 文字であった．

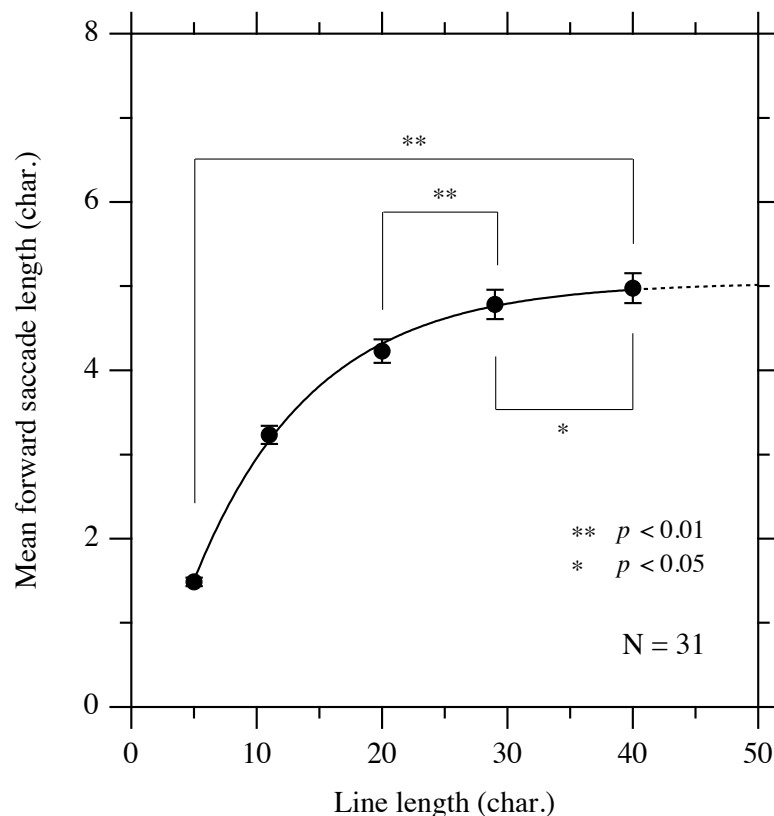


図 4.5 固定長改行レイアウトにおける、平均順行サッカード長と行長の関係。誤差範囲は標準誤差。

#### 4.3.4 平均順行サッカード長

図 4.5 は、平均順行サッカード長と行長の関係を示したものである。縦軸は平均順行サッカード長、横軸は行長、誤差範囲は標準誤差である。

平均順行サッカード長は、行長の伸長に伴って増加する傾向が認められた。5 文字/行の平均  $1.49 \pm 0.05$  文字 (S.E.;  $N=31$ ) に対して、40 文字/行では平均  $5.0 \pm 0.2$  文字 (S.E.;  $N=31$ ) と 3.4 倍に増加しており、その差は  $t[30] = 17.6$ ,  $p < 0.01$  と両側 5 %水準で有意であった。ただし、平均順行サッカード長の増加幅は行長の伸長に伴って徐々に減少し、40 文字/行付近では一定値に収束する傾向が認められた。

以上より、平均順行サッカード長は行長依存性を有し、行長が長くなるほど増加するとともに、一定値に収束することがわかった。平均順行サッカード長の収束値は約 5 文字であり、先行研究によるサッカード長の報告値 2 ～ 5 文字程度 (神部 89) や 5 ～ 6 文字 (Osa91) の値と概ね一致した。

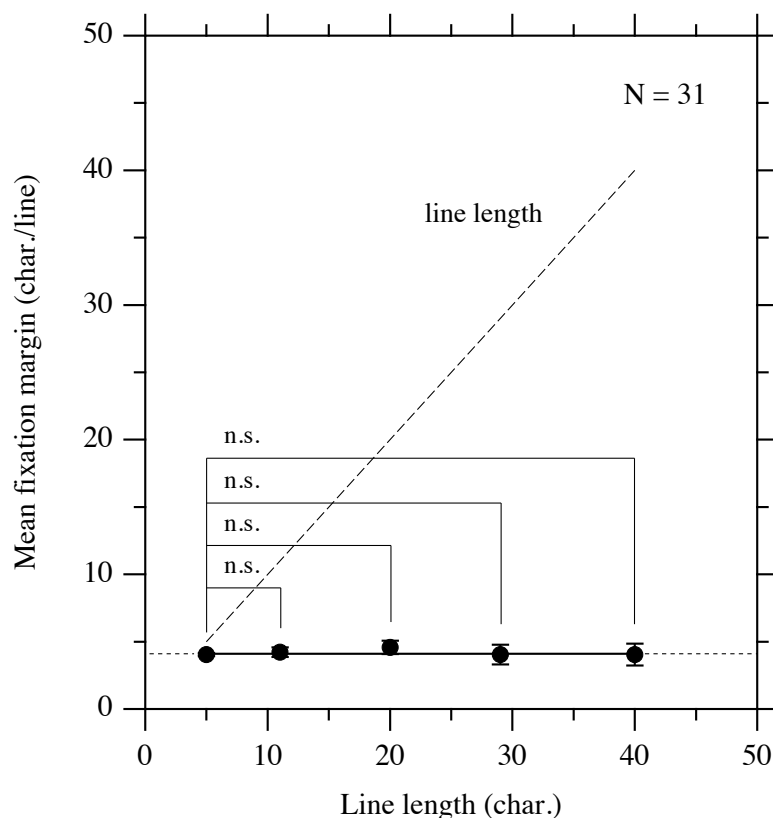


図 4.6 固定長改行レイアウトにおける，平均行端所要幅と行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

#### 4.3.5 平均行端所要幅

図 4.6 は，平均行端所要幅と行長の関係を示したものである．縦軸は平均行端所要幅，横軸は行長，誤差範囲は標準誤差である．

平均行端所要幅は，5 ～ 40 文字/行の範囲において，一定の値を示す傾向が認められた．例えば，5 文字/行の平均  $4.0 \pm 0.1$  文字 (S.E.;  $N=31$ ) に対して，40 文字/行では平均  $4.0 \pm 0.8$  文字 (S.E.;  $N=31$ ) であり，5 文字/行と 40 文字/行の平均行端所要幅に有意な差があると言えなかった．また，5 文字/行と 11 文字/行の平均行端所要幅，5 文字/行と 20 文字/行の平均行端所要幅，および 5 文字/行と 29 文字/行の平均行端所要幅においても，それぞれ有意な差があると言えなかった．

以上より，平均行端所要幅は行長に依らず一定の値を示し，その値は約 4 文字であることがわかった．行端所要幅の意味としては，図 3.6 に示すように各行を横一列に並べて考えると，行末から行頭への改行運動によって読み進む文字数と捉えることができる．すなわち，改行運動によって読み進む文字数は，行長に依らず約 4 文字であることがわかった．

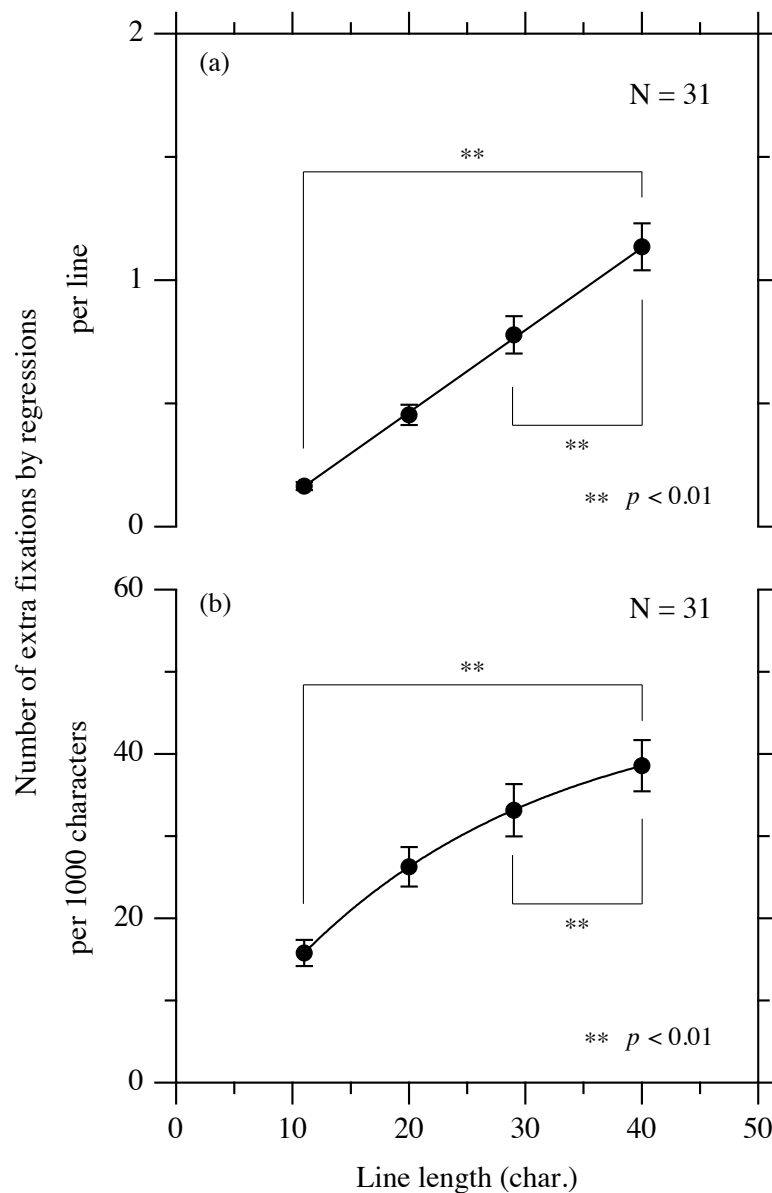


図 4.7 固定長改行レイアウトにおける，逆行運動による過剰停留数と行長の関係．(a) 1 行あたりの逆行運動による過剰停留数，(b) 刺激文章 1000 文字あたりの逆行運動による過剰停留数．

#### 4.3.6 逆行による過剰停留数

図 4.7 は，逆行運動による過剰停留について，1 行あたりの逆行運動による過剰停留数と行長の関係，および，1 刺激文章あたりの逆行運動による過剰停留数と行長の関係を示したものである．1 刺激文章あたりの発生数の比較には，1000 文字で正規化した値を用いた．縦軸 (a) は 1 行あたりの逆行運動による過剰停留数，縦軸 (b) は刺激文章 1000 文字あたりの逆行運動による過剰停留数，横軸は行長，誤差範囲は標準誤差である．

まず、1行あたりの逆行による過剰停留数は、図4.7-(a)より、行長の伸長に伴って概ね単調に増加する傾向が認められた。11文字/行の平均  $0.16 \pm 0.02$  回/行 (S.E.; N=31) に対して、40文字/行では平均  $1.1 \pm 0.1$  回/行 (S.E.; N=31) と6.9倍に増加しており、その差は  $t[30] = 11.4$ ,  $p < 0.01$  と両側5%水準で有意であった。29文字/行と40文字/行の値の差もまた、 $t[30] = 6.42$ ,  $p < 0.01$  と両側5%水準で有意であった。

次に、刺激文章1000文字あたりの逆行による過剰停留数は、図4.7-(b)より、行長の伸長に伴って増加する傾向が認められた。11文字/行の平均  $16 \pm 2$  回/1000文字 (S.E.; N=31) に対して、40文字/行では平均  $39 \pm 3$  回/1000文字 (S.E.; N=31) と2.4倍に増加しており、その差は  $t[30] = 10.3$ ,  $p < 0.01$  と両側5%水準で有意であった。29文字/行と40文字/行の値の差もまた、 $t[30] = 3.08$ ,  $p < 0.01$  と両側5%水準で有意であった。

以上より、逆行による過剰停留数は行長依存性を有し、1行あたりの逆行による過剰停留数および1刺激文章あたりの逆行による過剰停留数ともに、行長が長くなるほど増加することがわかった。この傾向は、4.5 inch 幅よりも9 inch 幅の行長では逆行頻度が増えるとの Beymer らの結果 (Bey05) を概ね包含する。

#### 4.3.7 改行運動中の過剰停留数

図4.8は、改行運動中に発生する過剰停留について、1行あたりの改行運動中の過剰停留数と行長の関係、および、1刺激文章あたりの改行運動中の過剰停留数と行長の関係を示したものである。1刺激文章あたりの発生数の比較には、1000文字で正規化した値を用いた。縦軸(a)は1行あたりの改行運動中の過剰停留数、縦軸(b)は1000文字あたりの改行運動中の過剰停留数、横軸は行長、誤差範囲は標準誤差である。

まず、1行あたりの改行運動中の過剰停留数は、図4.8-(a)より、行長の伸長に伴って概ね単調に増加する傾向が認められた。11文字/行の平均  $0.31 \pm 0.02$  回/行 (S.E.; N=31) に対して、40文字/行では平均  $1.0 \pm 0.08$  回/行 (S.E.; N=31) と3.4倍に増加しており、その差は  $t[30] = 11.2$ ,  $p < 0.01$  と両側5%水準で有意であった。29文字/行と40文字/行の値の差もまた、 $t[30] = 8.02$ ,  $p < 0.01$  と両側5%水準で有意であった。

次に、刺激文章1000文字あたりの改行運動中の過剰停留数は、図4.8-(b)より、行長の伸長に伴って増加し、20文字/行付近で一定値に収束する傾向が認められた。11文字/行と20文字/行の値の差は  $t[30] = 4.22$ ,  $p < 0.01$  と両側5%水準で有意であった。しかし、20文字/行と29文字/行の値に有意な差があるとは言えず、20文字/行と40文字/行の値にも有意な差があるとは言えなかった。

以上より、改行運動中の過剰停留数は行長依存性を有し、特に1行あたりの改行運動中

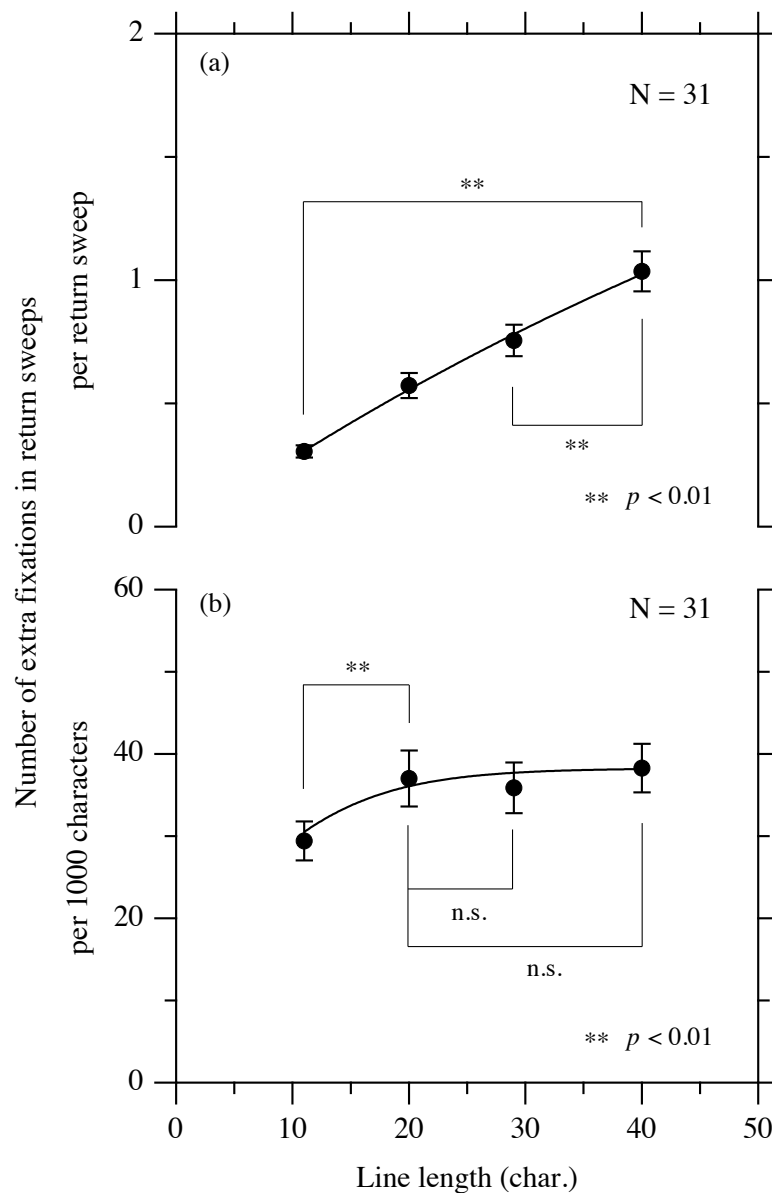


図 4.8 固定長改行レイアウトにおける，改行運動中の過剰停留数と行長の関係．(a) 1 行あたりの改行運動中の過剰停留数，(b) 刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数．

の過剰停留数は，行長が長くなるほど増加することがわかった．この結果は，長過ぎる行長では正確な改行サッカードが困難になるとの先行文献の指摘 (Hue08, Ray89, Ray12a) を裏付けるものとなった．一方で，1 刺激文章あたりの改行運動中の過剰停留数は，20 ～ 40 文字/行の範囲でほぼ一定となる傾向が認められた．Dyson は長い行長ほど正確な改行サッカードが困難になる欠点を，長い行長ほど改行数が減少する利点によって埋め合わせる可能性を指摘していたが (Dys04)，本結果はその指摘を実証することとなった．

## 4.4 考察

本節では、読み速度と眼球運動の行長依存性について考察し、日本語電子リーダーの行長設計について検討する。

### 4.4.1 読み速度と眼球運動の行長依存性

一定の長さで改行する日本語横書き文では、読み速度は行長依存性を有し、行長が長くなるほど増加するが、20 文字/行付近で上限速度に達する傾向が認められた。

図 4.3 より、行長が長いほど平均停留時間は短く、図 4.4 より、行長が長いほど停留数は少なくなる傾向が認められた。平均停留時間が短くなるほど、停留数が少なくなるほど、読み速度は向上する。ただし、平均停留時間および停留数ともに、20 文字/行付近で一定値に収束する傾向が認められた。この傾向は、読み速度の変化と同様である。したがって、本章で観察された 20 文字/行付近における読み速度の飽和は、平均停留時間および停留数が 20 文字/行付近で一定値に収束するためであることが推察された。

停留数の増減に関しては、停留の発生要因にわけて詳しく検証する。

図 4.9 は、図 4.4 および図 4.7-(b) と図 4.8-(b) をもとに、1 刺激文章あたりの全停留数を発生要因別に塗り分けたものである。縦軸は刺激文章 1000 文字あたりの各停留数、横軸は行長である。領域 A は順行サッカードおよび改行運動による所要停留数（過剰停留以外の停留数）、領域 B は逆行によって発生した過剰停留数、領域 C は改行運動中に発生した過剰停留数である。5 文字/行の過剰停留数は図 4.7-(b) と図 4.8-(b) の値から外挿し、逆行による過剰停留数は 0 回/1000 文字、改行運動中の過剰停留数は 20 回/1000 文字とした。

図 4.9 より、行長の伸長に伴って過剰停留数（領域 B+C）は増加する一方で、その増分も打ち消すほど大幅な所要停留数（領域 A）の減少が認められた。

まず領域 A において、所要停留数（領域 A）は行長の伸長とともに大幅に減少する傾向が認められた。順行サッカード長は長いほど、行端所要幅は広いほど、所要停留数は少なくなる。順行サッカード長と行端所要幅の変化に関しては、図 4.5 と図 4.6 より、順行サッカード長は長い行長ほど伸びる一方で、行端所要幅は行長に依らず一定である傾向が認められた。したがって、所要停留数の減少は、順行サッカード長の伸長によるものと推察された。

次に領域 B+C において、過剰停留（領域 B+C）は行長の伸長とともに増大する傾向が認められた。短い行長では過剰停留の多くが改行運動中に発生しているが（領域 C）、

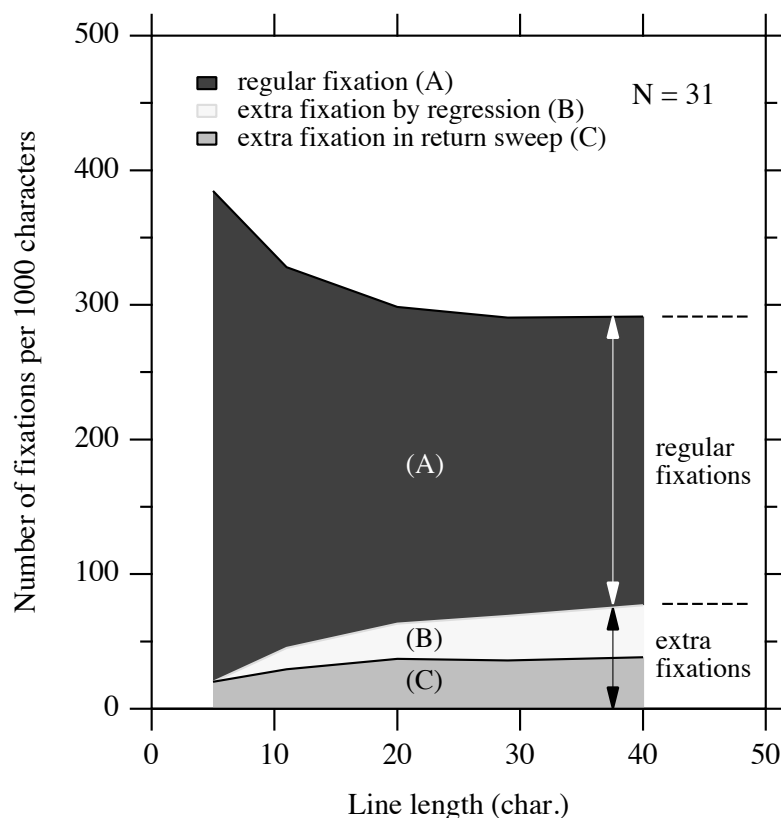


図 4.9 固定長改行レイアウトにおける、停留発生要因と行長の関係。(A) 所要停留数（過剰停留以外の停留数），(B) 逆行によって発生した過剰停留数，(C) 改行運動中に発生した過剰停留数。

行長の伸長とともに逆行による過剰停留（領域 B）が増えて、40 文字/行では改行運動中の過剰停留数と逆行による過剰停留数がほぼ同数となる傾向が認められた。また、逆行による過剰停留（領域 B）は全行長範囲で行長の伸長とともに増大する一方で、改行運動中の過剰停留（領域 C）は 5 ～ 20 文字/行の範囲で増大するが、20 ～ 40 文字/行の範囲ではほぼ一定となる傾向が認められた。

以上より、所要停留数および過剰停留数の変化を合わせて考察すると、短い行長では「過剰停留数は少ないが、順行サッカード長が短いために、全体の停留数が多い」、長い行長では「過剰停留数が増えるものの、順行サッカード長が伸びるために、全体の停留数は少ない」と言える。さらに、全停留数の低減が 20 ～ 40 文字/行で停滞する現象は、順行サッカード長が伸びる影響による停留数の減少と、逆行による過剰停留数の増加が拮抗しているためであることが推察された。



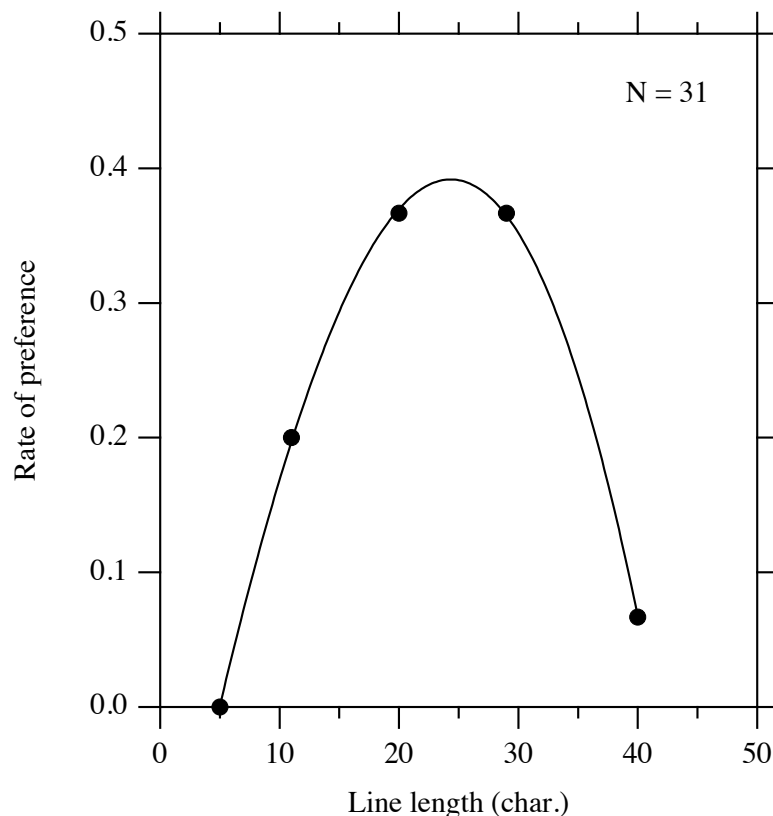


図 4.10 固定長改行レイアウトにおける，実験協力者が最も読みやすいと選択した行長の割合．

#### 4.4.2 日本語電子リーダーの行長設計

既存の日本語組版で表示する場合，読み速度の点からは，最も速く読める 20 ～ 40 文字/行が最適な行長の候補となる．平均停留時間の点からは，充分短くなる 20 ～ 40 文字/行ではどの行長でも問題ない．停留数の点からは，20 ～ 40 文字/行で順行サッカード長の伸長による停留数の減少と逆行による過剰停留数の増加が拮抗しており，順行サッカード長の伸長を優先させるか，逆行による過剰停留を抑制するか二者択一となる．すなわち，行長が長いほど「停留時間は短く，順行サッカード長は長くなって，読み速度の向上をもたらす」一方で，行長が長いほど「逆行による過剰停留は増え，改行運動中の過剰停留も増えて，読み速度の低下をもたらす」というトレードオフの関係にあり，20 ～ 29 文字/行の行長はその妥協点と言える．

ここで，実験協力者が最も読みやすいと選択した行長の割合を図 4.10 に示す．20 文字/行および 29 文字/行を最も読みやすいとした実験協力者が多く，それより短い行長や長い行長を選択する実験協力者は少なかった．特に，20，29，40 文字/行において，読み速度はほぼ同じであるが 40 文字/行を読みやすいと感じる実験協力者は少なかった．この

結果は、たとえ同じ速度で読むことができて、読者が感じる読みやすさに違いが生まれることを意味する。20～40文字/行においては、順行サッカード長の伸長を優先させるか逆行による過剰停留を抑制するかの二者択一となっていたが、実験協力者の行長選択の傾向から、過剰停留の抑制を優先させる方が、読みやすさの点で優位となる可能性が示唆された。

以上より、既存の日本語組版で表示する場合の最適な行長は、20～29文字/行と結論付けられることとなった。一方で、これらの知見は読み効率を高める電子リーダーの重要な設計指針であり、短い行長における読み効率の向上には、停留時間の短縮と順行サッカード長の伸長を必要とし、長い行長における読み効率の向上には、逆行による過剰停留の削減と改行運動中の過剰停留の削減を必要とすることがわかった。

## 4.5 小括

日本語横書き文の電子リーダーの行長設計に関連して、行長変化が読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証した。

1行あたり5文字から40文字の5段階の行長で読み速度を検証した結果、読み速度は行長の伸長とともに増加し、最も短い5文字/行で最小、最も長い40文字/行で最大であったが、20文字/行以上ではほぼ一定の傾向を示した。実験協力者に最も好まれた行長範囲は20～29文字/行であった。読み速度の行長依存性は「停留時間」「順行サッカード長」「逆行による過剰停留数」「改行運動中の過剰停留数」の眼球運動指標で説明され、行長が長いほど、停留時間は短く順行サッカード長は長くなって読み速度の向上に寄与する一方で、行長が長いほど、逆行による過剰停留および改行運動中の過剰停留は増えて読み速度の低下をもたらすという、トレードオフの関係が見出された。

## 第5章

# 改行の設計：文節間改行レイアウト

本章では、日本語横書き文章における改行位置が、読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証する。

### 5.1 緒言

第4章において、読みの眼球運動は行長依存性をもつとともに、読み効率と密接に関係することがわかった。そして、読み効率の向上には、順行サッカードの伸長および過剰停留の削減が重要であることがわかった。

第2章で述べたように、読書中は停留とサッカードが繰り返され、停留中には、中心視で文字を認識すると同時に周辺視で次の停留場所の選定を行う。単語認知が最も早くなる停留場所は最適停留位置と呼ばれ、単語の中心付近であることが報告されている(O'R84, McC89, Vit90, Naz91, Vit95, Bry96, Ray96b, Deu99, Kaj00, Hyö11)。もし、最適停留位置から外れた場所に停留すると、同一単語内で再停留が発生しやすくなるために(McC89, O'R92a, Vit95)、読みの効率向上には、文章中の最適な停留位置への的確な視点移動が欠かせない。日本語文章における意味処理や視点移動は文節単位であるとされ(神部 94, 神部 98, 中條 99)、文節単位で次々停留しながら読み進めることができれば、より効率よく、より速く読める可能性がある。

現在の日本語電子リーダーには、改行を含むレイアウトが多く採用されている。しかし、その改行位置は、日本語組版の禁則処理をもとに、固定値や画面幅によって決定される場合が多い。その結果、改行によって意味的なまとまりをもった文字列が分断され、最適な停留場所の消失、すなわち1回の停留で1度に認識すべき文字のかたまりが分断され、読み効率の低下をまねいている可能性がある。話し言葉を字幕表示する先行研究では、意味的なまとまりを考慮しつつ文節間で改行すると、一定文字数で改行した場合よりも読みやすいとの結果も報告されている(村田 09)。

電子リーダーは改行位置を自由に変更可能な特長をもつために、表示領域と文構造にもとづいて改行位置を調節することで、意味的なまとまりを改行で分断せずに文章をレ

アウトすることが可能である。その結果、文節を考慮せずに一定の文字数を基準として改行していく既存の日本語レイアウトよりも、効率よく視点を移動しながら読める可能性がある。

そこで本章では、意味的まとまりのひとつである文節を改行で分断しないように配置した「文節間改行レイアウトを有する縦スクロール型電子リーダー」をもとに、その効果を読み速度や眼球運動の点から詳しく検証することとした。

## 5.2 実験

本章では、文節間改行レイアウトの効果を検証するために、文節間改行の有無、行長、および刺激文章を変更しながら、読み速度と眼球運動を計測した。なお、本論文で共通する実験条件や手続きに関しては、第3章を参照されたい。

### 5.2.1 実験協力者

大学生20名（男性11名、女性9名、年齢19～23歳）が実験に参加した。

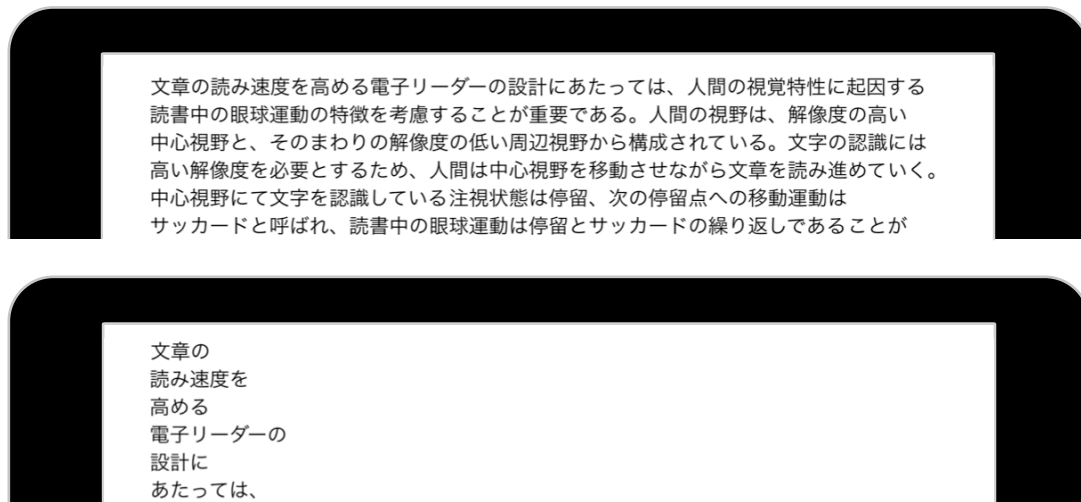
### 5.2.2 刺激

文節間で改行したレイアウトが読みにあたえる影響を検証するために、文節間改行の有無が異なる図5.1-(A)(B)に示す2種類のレイアウトを準備した。両レイアウトともに、横向きモードのiPad上に描画された。

図5.1-(A)の「文節間改行レイアウト」は、文章を構成する文節を改行で分断しないように調整したレイアウトである。1行の基準文字数を5, 11, 20, 29, 40の5段階に設定し、それぞれ1行の基準文字数を超えない条件で最長となる文節間で改行した。また、1文節の長さが1行の基準文字数を超えていた場合は、当該文節を分断することなく、そのまま1行として採用した。なお、文節の長さは一定でないため、1行あたりの文字数にはばらつきが生じる。基準文字数5, 11, 20, 29, 40に対する1行あたりの平均文字数は、それぞれ平均4.7, 8.8, 17.9, 26.5, 37.7文字であった。

図5.1-(B)は、評価基準として用いる一般的な日本語表記の「固定長改行レイアウト」である。1行あたりの文字数を5, 11, 20, 29, 40とし、改行時の禁則処理は句読点と括弧のみを対象とした。

刺激文章は星新一氏のショートショート作品とし、1話の文字数が2000字程度の34話を用いた。

(A) *Bunsetsu*-based linefeed layout

## (B) Fixed-length layout (Japanese standard layout)

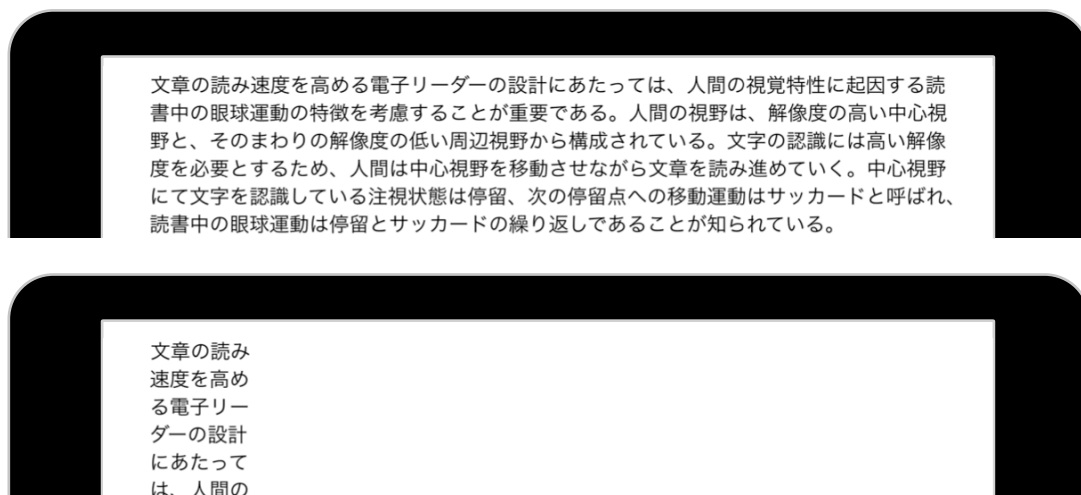


図 5.1 日本語電子リーダーの文章表示例。(A) 改行位置を文節間に設定した「文節間改行レイアウト」、(B) 一定の長さで改行する従来の日本語表記「固定長改行レイアウト」。1 行の基準文字数が 5 と 40 の場合。

### 5.2.3 手続き

実験協力者 20 名について、レイアウト（固定長改行および文節間改行レイアウトの 2 種類）、1 行の基準文字数（5, 11, 20, 29, 40 文字の 5 段階）、および刺激文章（34 話）を変更しながら、読み速度と眼球運動を計測した。

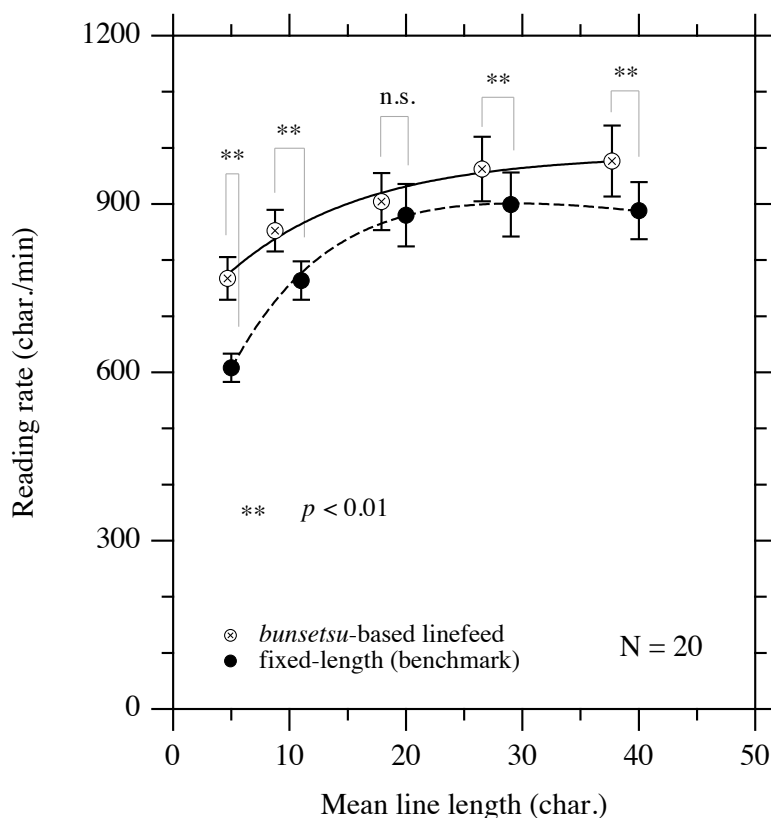


図 5.2 文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，読み速度と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

#### 5.2.4 装置

実験協力者の眼球運動は，視線検出装置 EMR-9 を用いて計測した．

### 5.3 結果

文節間改行レイアウトの効果を検証するために，まず，読み速度と停留時間および停留数の変化を分析した．次に，停留数の増減に関係する逆行による過剰停留数，改行運動中の過剰停留数，順行サッカードの長さ，および 1 行を 1 停留で読む割合の変化をそれぞれ分析した．

#### 5.3.1 読み速度

図 5.2 は，文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，読み速度の変化を示したものである．横軸は平均行長，縦軸は読み速度，誤差範囲は標準誤差である．

文節間改行レイアウトにおける読み速度は、固定長改行レイアウトよりも向上する傾向が認められた。例えば、1行の基準文字数5の場合には、固定長改行レイアウトの平均読み速度  $608 \pm 25$  文字/分 (S.E.;  $N=20$ ) に対して、文節間改行レイアウトでは平均  $768 \pm 38$  文字/分と +26 %の増加、読み速度にして +159 文字/分の増加が認められた。また、1行の基準文字数40の場合には、固定長改行レイアウトの平均読み速度  $888 \pm 51$  文字/分 (S.E.;  $N=20$ ) に対して、文節間改行レイアウトでは平均  $977 \pm 63$  文字/分と +10 %の増加、読み速度にして +89 文字/分の増加が認められた。各基準文字数の読み速度についてレイアウト間で  $t$  検定を実施したところ、1行の基準文字数20を除く5, 11, 29, 40の行長において、それぞれ両側5 %水準で有意な差が認められた。1行の基準文字数5で  $t[19] = 6.02$ ,  $p < 0.01$ , 基準文字数11で  $t[19] = 4.29$ ,  $p < 0.01$ , 基準文字数29で  $t[19] = 3.05$ ,  $p < 0.01$ , 基準文字数40で  $t[19] = 3.11$ ,  $p < 0.01$  となった。

したがって、文節間改行レイアウトでは、1行の基準文字数5～11の短い行長、および1行の基準文字数29～40の長い行長において、固定長改行レイアウトよりも速く読み進めていることがわかった。

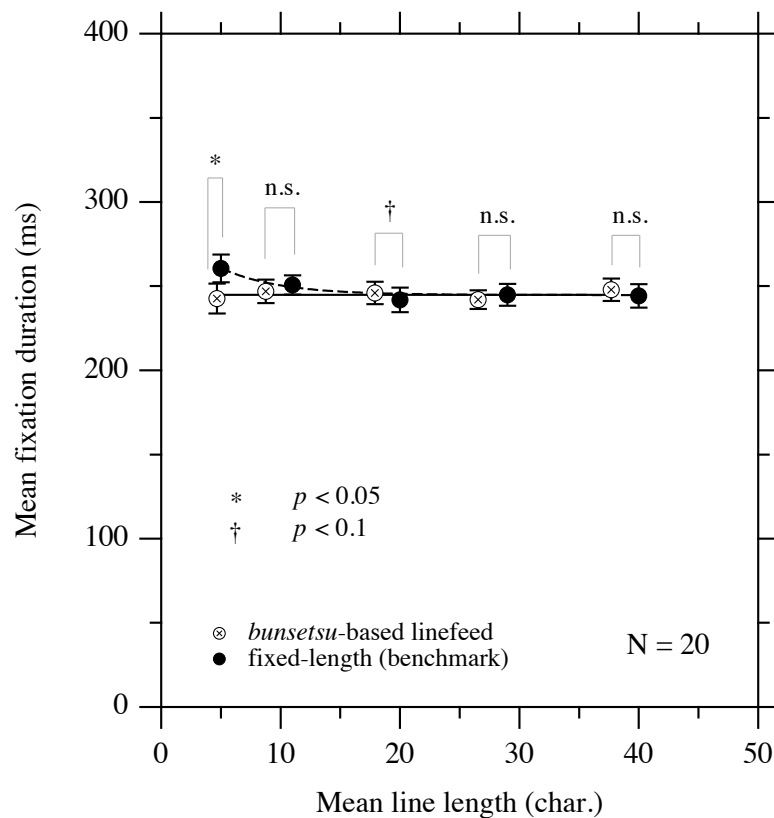


図 5.3 文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，平均停留時間と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

### 5.3.2 平均停留時間

図 5.3 は，文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，平均停留時間の変化を示したものである．縦軸は平均停留時間，横軸は平均行長，誤差範囲は標準誤差である．

文節間改行レイアウトにおける平均停留時間は，1 行の基準文字数 5 の短い行長において，固定長改行レイアウトよりも短い傾向が認められた．レイアウト間の各基準文字数における両側 5 %水準の  $t$  検定では，1 行の基準文字数 5 で  $t[19] = 2.28$ ,  $p < 0.05$  と有意，基準文字数 20 で  $t[19] = 1.98$ ,  $p < 0.1$  と有意傾向にあったが，1 行の基準文字数 11, 29, 40 においては有意であると言えなかった．

したがって，文節間改行レイアウトでは，1 行の基準文字数 5 の短い行長において，固定長改行レイアウトよりも短い停留時間で読み進めていることがわかった．



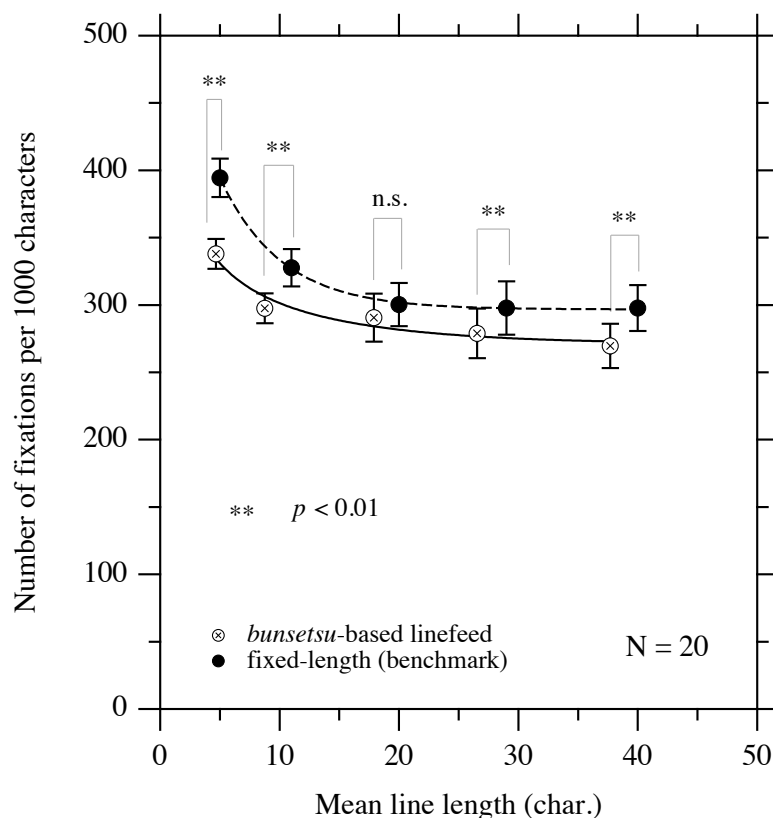


図 5.4 文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，刺激文章 1000 文字あたりの停留数と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

### 5.3.3 停留数

図 5.4 は，文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，1 刺激文章あたりの停留数の変化を示したものである．1 刺激文章あたりの停留数の比較には，1000 文字で正規化した値を用いた．縦軸は刺激文章 1000 文字あたりの停留数，横軸は平均行長，誤差範囲は標準誤差である．

文節間改行レイアウトにおける停留数は，固定長改行レイアウトよりも少ない傾向が認められた．レイアウト間の各基準文字数における両側 5 %水準の  $t$  検定では，1 行の基準文字数 20 を除く，1 行の基準文字数 5, 11, 29, 40 でそれぞれ有意な差が認められ，1 行の基準文字数 5 で  $t[19] = 7.14$ ,  $p < 0.01$ ，基準文字数 11 で  $t[19] = 3.55$ ,  $p < 0.01$ ，基準文字数 29 で  $t[19] = 2.91$ ,  $p < 0.01$ ，基準文字数 40 で  $t[19] = 4.06$ ,  $p < 0.01$  となった．

したがって，文節間改行レイアウトでは，1 行の基準文字数 5 ～ 11 の短い行長，および 1 行の基準文字数 29 ～ 40 の長い行長において，固定長改行レイアウトよりも少ない停留数で読み進めていることがわかった．

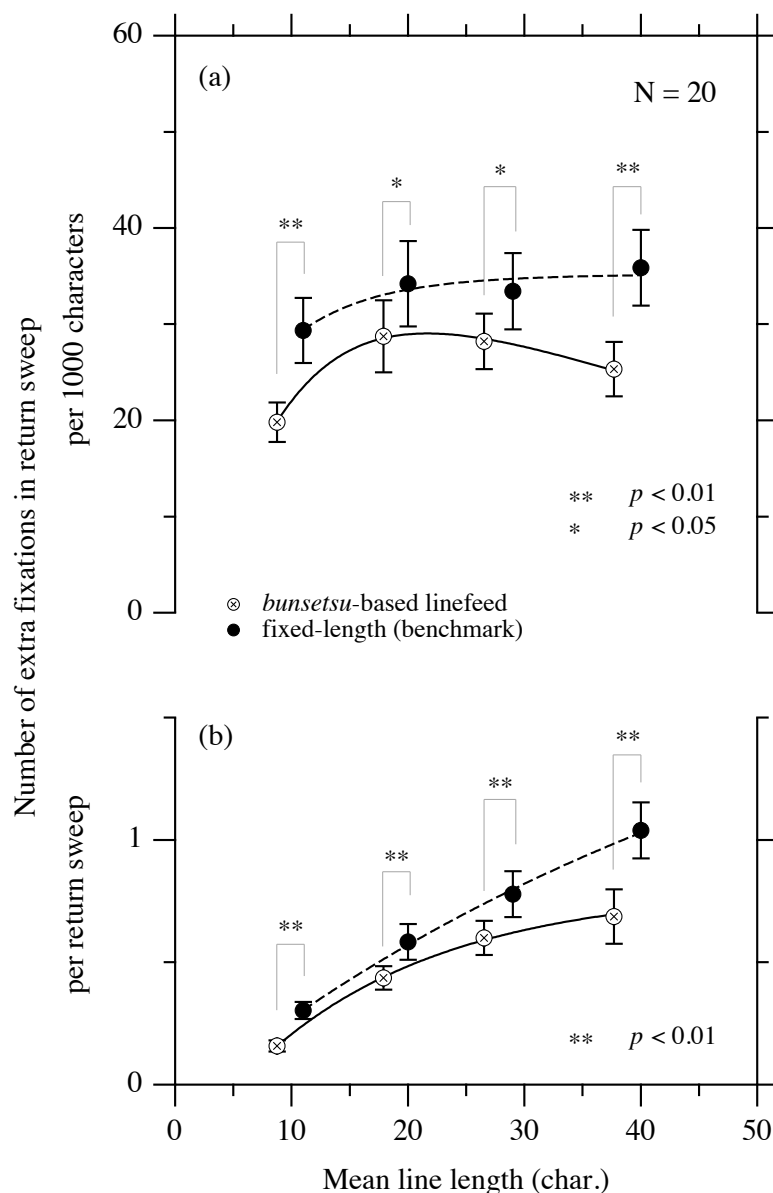


図 5.5 文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，(a) 刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数および (b) 1 改行運動あたりの過剰停留数と平均行長の関係，誤差範囲は標準誤差。

#### 5.3.4 改行運動中の過剰停留数

図 5.5 は，文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，改行運動中の過剰停留数の変化を示したものである。1 刺激文章あたりの改行運動中の過剰停留数の比較には，1000 文字で正規化した値を用いた。縦軸 (a) は刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数，縦軸 (b) は 1 改行運動あたりの過剰停留数，横軸は平均行長，誤差範囲は標準誤差である。

まず刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数で見ると、図 5.5-(a) より、文節間改行レイアウトにおける改行運動中の過剰停留数は、固定長改行レイアウトよりも少ない傾向が認められた。レイアウト間の各基準文字数における両側 5 %水準の  $t$  検定では、1 行の基準文字数 11 ~ 40 の全範囲で有意な差が認められ、1 行の基準文字数 11 で  $t[19] = 3.82$ ,  $p < 0.01$ , 基準文字数 20 で  $t[19] = 2.22$ ,  $p < 0.05$ , 基準文字数 29 で  $t[19] = 2.46$ ,  $p < 0.05$ , 基準文字数 40 で  $t[19] = 5.92$ ,  $p < 0.01$  となった。

次に 1 改行運動あたりの過剰停留数で見ると、図 5.5-(b) より、文節間改行レイアウトにおける改行運動中の過剰停留数は、固定長改行レイアウトよりも少ない傾向が認められた。また、1 改行運動あたりの平均過剰停留数は、どちらのレイアウトにおいても行長の伸長に伴って増加するが、その増加率は文節間改行レイアウトの方が小さく、行長が長くなるほどレイアウト間の差は広がる傾向が認められた。レイアウト間の各基準文字数における両側 5 %水準の  $t$  検定では、1 行の基準文字数 11 ~ 40 の全範囲で有意な差が認められ、1 行の基準文字数 11 で  $t[19] = 5.32$ ,  $p < 0.01$ , 基準文字数 20 で  $t[19] = 3.36$ ,  $p < 0.01$ , 基準文字数 29 で  $t[19] = 3.48$ ,  $p < 0.01$ , 基準文字数 40 で  $t[19] = 6.33$ ,  $p < 0.01$  となった。

したがって、文節間改行レイアウトで発生する改行運動中の過剰停留は、全行長において、固定長改行レイアウトよりも少ないことがわかった。また、1 行あたりの過剰停留数で見ると、両レイアウトともに行長が伸長するほど過剰停留は増加するが、その増加率は文節間改行レイアウトの方が小さいことから、文節間改行レイアウトでは、行長が伸長しても改行運動中に過剰停留が発生しにくいことがわかった。

### 5.3.5 逆行による過剰停留数

図 5.6 は、文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、逆行による過剰停留数の変化を示したものである。1 刺激文章あたりの逆行による過剰停留数の比較には、1000 文字で正規化した値を用いた。縦軸は刺激文章 1000 文字あたりの逆行による過剰停留数、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

文節間改行レイアウトにおける逆行による過剰停留数は、固定長改行レイアウトよりも少ない傾向が認められた。逆行による過剰停留は、どちらのレイアウトにおいても行長の伸長に伴って増加するが、その増加率は文節間改行レイアウトの方が小さく、行長が長くなるほどレイアウト間の差は広がる傾向が認められた。ただし、レイアウト間の各基準文字数における両側 5 %水準の  $t$  検定では、1 行の基準文字数 40 で  $t[19] = 2.92$ ,  $p < 0.01$  と有意な差が認められたものの、1 行の基準文字数 29 のレイアウト間の差は  $t[19] = 2.08$ ,  $p < 0.1$

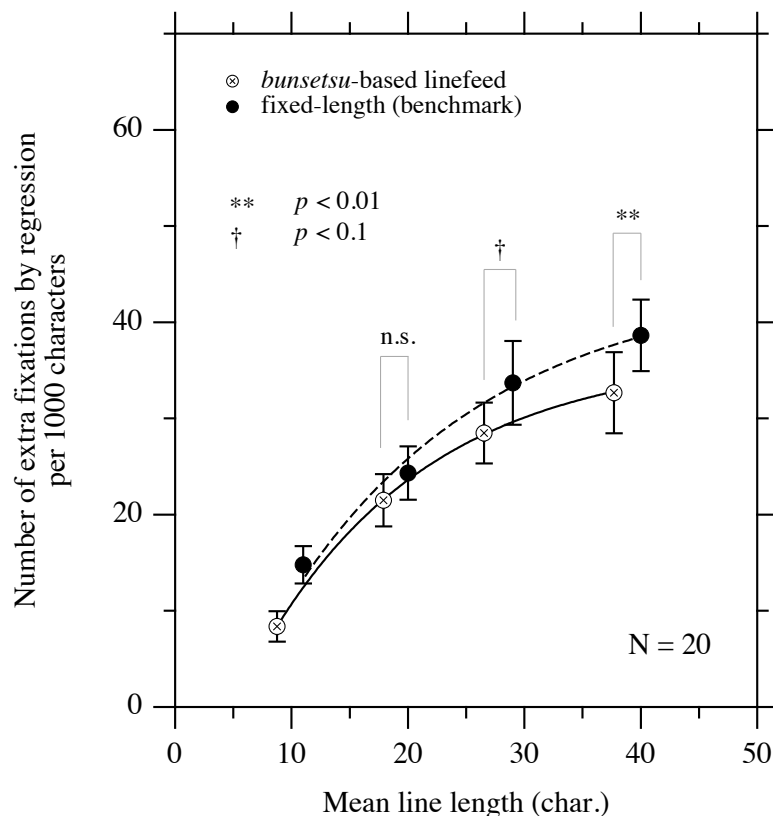


図 5.6 文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，刺激文章 1000 文字あたりの逆行による過剰停留数と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

と有意傾向に留まった．また，1 行の基準文字数 20 のレイアウト間の差は有意であると言えず，1 行の基準文字数 11 および 20 では両レイアウトの値が描く近似曲線がほぼ一致する傾向が認められた．

したがって，文節間改行レイアウトでは，概ね 1 行の基準文字数 29 ～ 40 の長い行長において，固定長改行レイアウトよりも逆行せずに読み進めていることがわかった．

### 5.3.6 平均順行サッカード長

図 5.7 は，文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，平均順行サッカード長の変化を示したものである．縦軸は平均順行サッカード長，横軸は平均行長，誤差範囲は標準誤差である．

平均順行サッカード長は，どちらのレイアウトにおいても，行長の伸長に伴って増加する傾向が認められた．レイアウト間の各基準文字数における両側 5 %水準の  $t$  検定では，1 行の基準文字数 40 において  $t[19] = 1.74$ ， $p < 0.1$  と有意傾向となったが，1 行の

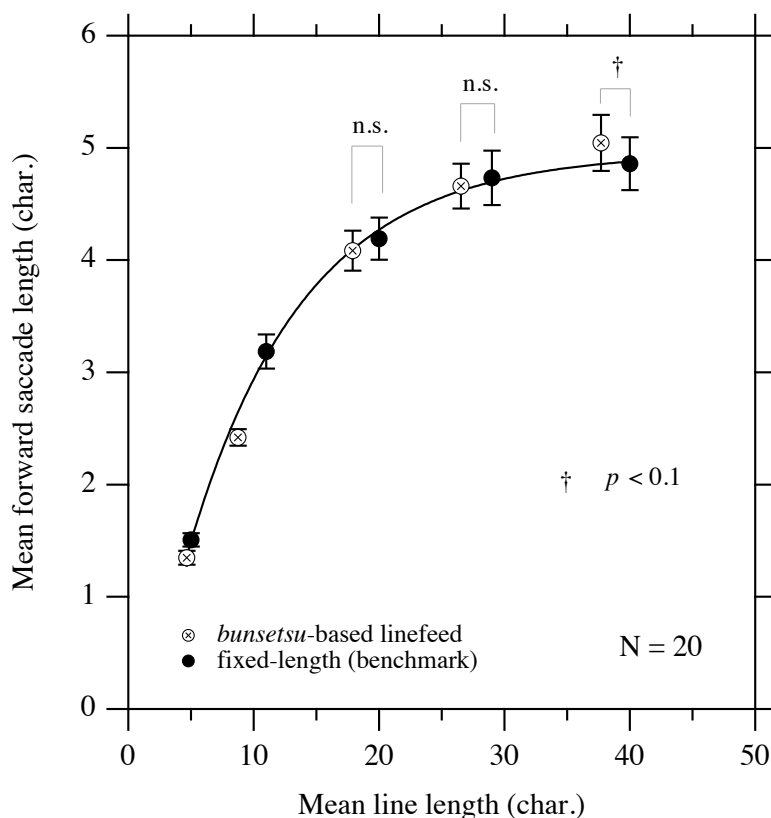


図 5.7 文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，平均順行サッカード長と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

基準文字数 20 および 29 では有意であるとは言えず，全体として両レイアウトの値がひとつの近似曲線上に乗る傾向が認められた．

したがって，平均順行サッカード長については，文節間改行レイアウトと固定長改行レイアウトで同様の傾向を示すことがわかった．

### 5.3.7 1 行を 1 停留で読む割合

図 5.8 は，文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，1 行を 1 停留で読む割合の変化を示したものである．縦軸は全行に占める 1 停留で読んだ行の割合，横軸は平均行長，誤差範囲は標準誤差である．

文節間改行レイアウトでは，固定長改行レイアウトよりも 1 行を 1 停留で読む割合が大きい傾向が認められた．最も短い行長である 1 行の基準文字数 5 の場合は，固定長改行レイアウトの 49% に対して，文節間改行レイアウトで 71% と，その差は  $t[19] = 8.70$ ,  $p < 0.01$  と両側 5 % 水準で有意であった．また，1 行の基準文字数 11 においても，固定長改行レ

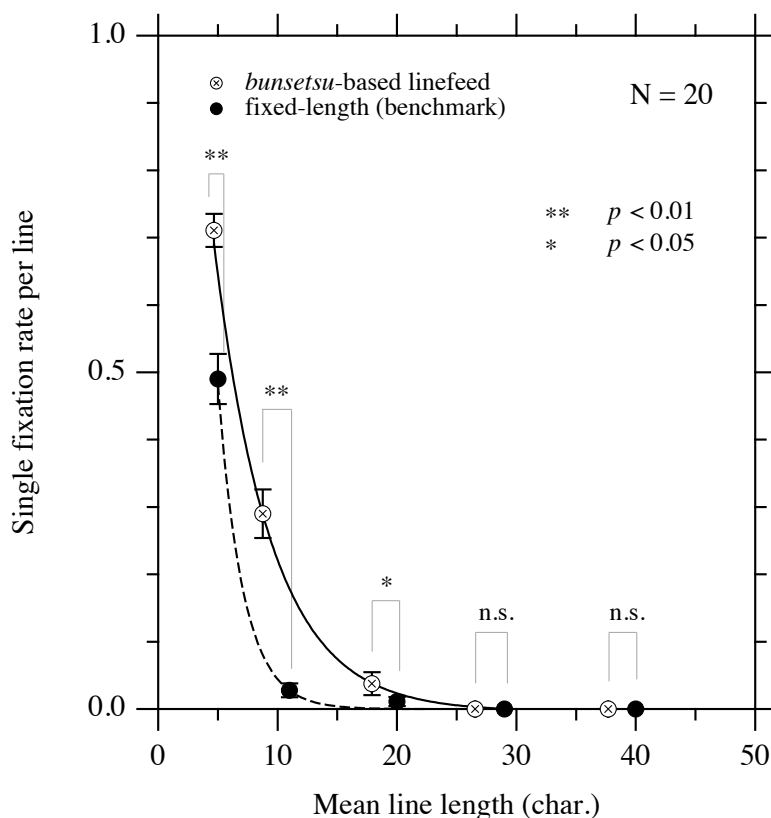


図 5.8 文節間改行および固定長改行レイアウトにおける，1 停留で読む行の割合と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

イアウトの 3% に対して，文節間改行レイアウトでは 29% と比較的大きな値を維持しており，その差は  $t[19] = 7.92$ ,  $p < 0.01$  と両側 5% 水準で有意であった．1 行の基準文字数 20 においても，その差は  $t[19] = 2.24$ ,  $p < 0.05$  と有意であった．

したがって，文節間改行レイアウトでは，1 行の基準文字数 5, 11, 20 において，固定長改行レイアウトよりも多くの行を 1 停留で読み進めていることがわかった．

## 5.4 考察

文節間改行レイアウトでは，固定長改行レイアウトよりも速く読める傾向が認められた．この結果は，図 5.3 と図 5.4 より，1 行の基準文字数 29 ～ 40 の長い行長では停留数の減少に起因し，1 行の基準文字数 5 ～ 11 の短い行長では停留数の減少に加えて停留時間の減少にも起因することがわかった．

1 行の基準文字数が 29 ～ 40 の範囲にある，比較的大きな行長の文節間改行レイアウトにおける停留数の減少は，図 5.5-(a) と図 5.6 より，改行運動中の過剰停留の減少と，逆行

による過剰停留の減少に起因することがわかった。また、図 5.5-(b) より、1 行の基準文字数 40 の固定長改行レイアウトでは、改行運動中に平均 1.0 回の過剰停留が発生していたが、1 行の基準文字数 40 の文節間改行レイアウトでは、平均 0.69 回まで減少していることがわかった。すなわち、改行運動中の過剰停留の減少は、行頭が常に文節の先頭文字から開始される文節間改行レイアウトの特長によって、行末から次行頭へのサッカーの行頭付近の読みに適した場所へ 1 回のサッカーで到達できる確率が増したことに起因する可能性が推察された。逆行による過剰停留については、逆行の発生場所と意味的なまとまりの関係を含めてさらなる検証が必要であるが、行頭および行末付近で意味的なまとまりが保持されている文節間改行レイアウトの特長が関係している可能性が推察された。

1 行の基準文字数が 5 ～ 11 の範囲にある、比較的短い行長の文節間改行レイアウトにおける停留数の減少は、図 5.5-(a) と図 5.8 より、改行運動中の過剰停留の減少と、1 行を 1 停留で読む割合の増大に起因することがわかった。文節間改行レイアウトでは文節のまとまりを分断せずに配置することから、行長が短くなると、1 行がひとつの文節やひとつの意味的なまとまりで構成される行が増える。日本語文章における意味処理や視点移動は文節単位との報告をふまえると（神部 94, 神部 98, 中條 99）、文節間改行レイアウトでは短い行長ほど 1 停留で読めるようになり、停留数の減少や停留時間の短縮につながったことが推察された。また、改行運動の距離と方向やスクロール操作との関係を含めてさらなる検証が必要であるが、1 行を 1 停留で読める特長によって改行運動が容易になり、1 行の基準文字数 5 ～ 11 の短い行長において改行運動中に発生する過剰停留の抑制につながった可能性が推察された。

## 5.5 小括

本章では、日本語の横書き文章における改行位置が、読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証した。

改行位置を文節間に設定したレイアウトでは、一定の長さで改行した従来レイアウトよりも、理解度を維持したまま、速く読めることがわかった。読み速度の向上率は、1 行の基準文字数 5 の場合に 26 %、1 行の基準文字数 40 の場合に 10 %であった。1 行の基準文字数 5 ～ 11 の短行における読み速度の向上は、1 行を 1 停留で読む割合が増大したことに起因する「停留数の削減」「改行運動中の過剰停留の削減」および「停留時間の短縮」によるものと推察された。1 行の基準文字数 29 ～ 40 の長行における読み速度の向上

は「改行運動中の過剰停留の削減」および「逆行による過剰停留の削減」によるものと推察された。改行位置を文節間に設定する手法が、読み効率の向上につながることがわかった。



## 第6章

### 文字配置の設計 (I) : 文節単位の階段状ベースライン

本章では、第5章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え、さらに文字ベースラインを文節ごとに階段状に下げていく手法によって文節単位の視認性を向上させるレイアウトを提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証する。

#### 6.1 緒言

第5章において、改行位置を文節間に調整することで、読み速度を10～26%向上できることがわかった。一方で、順行サッカード長の伸長や過剰停留数の削減には、改善の余地が残されていることもわかった。

第2章および第5章で述べたように、読書中は停留とサッカードが繰り返され、停留中には、中心視で文字を認識すると同時に周辺視で次の停留場所の選定を行う。単語認知が最も早くなる停留場所は最適停留位置と呼ばれ、単語の中心付近であることが報告されている (O'R84, McC89, Vit90, Naz91, Vit95, Bry96, Ray96b, Deu99, Kaj00, Hyö11)。もし、最適停留位置から外れた場所に停留すると、同一単語内で再停留が発生しやすくなるために (McC89, O'R92a, Vit95)、読みの効率向上には、文章中の最適な停留位置への的確な視点移動が欠かせない。

英語のような表記上単語間にスペースを有する言語では、スペースによる単語間の視覚的な境界情報が視点移動に対して重要な役割を担っているとされ (Pol82, Mor90, Ray96a)、もしスペースを除くと、停留場所は単語の先頭方向へとずれて読み速度は約30～50%低下する例が報告されている (Ray96a, Ray98b)。

日本語文章における意味処理や視点移動は文節単位であるとされる (神部 94, 神部 98, 中條 99)。そこで、文節間にスペースを挿入する実験がなされたが、漢字仮名が混合した日本語文章では有意な差をもたないか (松田 01)、かえって読み速度の低下をもたらした (Sai07)。その結果、漢字仮名が混合した日本語文章では、視覚的に目立つ漢字が視点移動の有効な手がかりとして機能するために、文節間へのスペース挿入は冗長であると結論付けられた (Sai07)。このように、日本語文章においては、英語のような言語とは異なり、文節間への

スペースの挿入が境界情報として機能せず、読み効率を向上できない状況にあった。

そこで本章では、第5章において10～26%の読み速度向上が確認された「文節間改行レイアウト」に対して、隣り合う文節の文字ベースラインを上下にずらすことで視覚的な特徴を付与することで、文節単位の視認性向上を図る電子リーダーを提案する。そして、文節単位の階段状ベースラインレイアウトを有する電子リーダーが読みに与える影響を、読み速度や眼球運動の点から詳しく検証することとした。

## 6.2 提案手法：文節単位の階段状ベースライン

図6.1-(A)に示すのが、本章において提案する「文節単位の階段状ベースライン」を有する電子リーダーである。隣り合う文節を上下にずらすことで視覚的な境界情報を付与し、文節単位の視認性を高める効果を狙った。一行の中で文字ベースラインが文節単位で段階的に下がっていき、改行位置は文節間であることを特徴とする。一段の下げ幅は、予備実験で最も効果的であった文字高の7.5%分を採用した。

なお、行頭の行間は1.6 mmであるが、文節長や行内文節数が均一でないために、行末の行間にはばらつきが発生する。ただし、本章の実験では、上下の行と文字が重なることはなかった。

## 6.3 実験

本章では、文節単位の階段状ベースラインレイアウトの効果を検証するために、階段形状の有無、行長、および刺激文章を変更しながら、読み速度と眼球運動を計測した。なお、本論文で共通する実験条件や手続きに関しては、第3章を参照されたい。

### 6.3.1 実験協力者

大学生20名（男性19名、女性12名、年齢19～24歳）が実験に参加した。

### 6.3.2 刺激

文節単位の階段状ベースラインの効果を検証するために、図6.1に示す、階段状ベースラインの有無のみが異なる「(A) 文節単位の階段状ベースラインレイアウト」および「(B) 直線状ベースラインレイアウト」の2種類のレイアウトを準備した。両レイアウトともに、改行位置は文節間に設定され、横向きモードのiPad上に描画された。なお、直線状ベースラインレイアウトは、第5章において「文節間改行レイアウト」と表記され

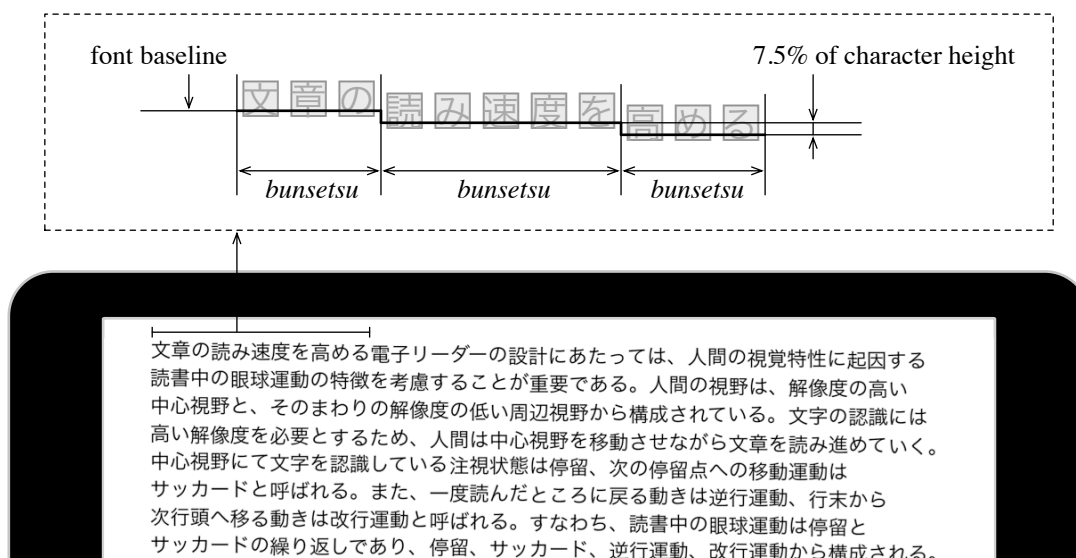
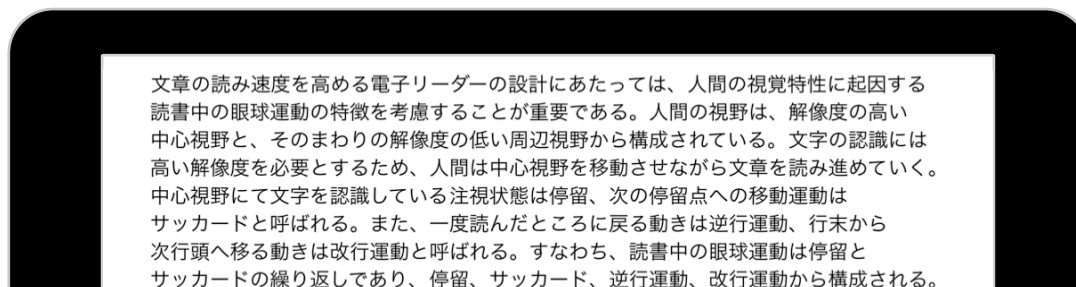
(A) Stepped-line layout with *bunsetsu*-based segmentation (stepped-line layout)(B) *Bunsetsu*-based linefeed layout (straight-line layout)

図 6.1 日本語電子リーダーの表示例. (A) 本章で提案する「文節単位の階段状ベースラインレイアウト」、(B) 評価基準として用いる「直線状ベースラインレイアウト」。

るレイアウトと同一である。

1 行の基準文字数は 11, 20, 29, 40 の 4 段階に設定し、それぞれ 1 行の基準文字数を超えない条件で最長となる文節間で改行した。なお、文節の長さは一定でないため、1 行あたりの文字数にはばらつきが生じる。基準文字数 11, 20, 29, 40 に対する 1 行あたりの平均文字数は、文節単位の階段状ベースラインレイアウトにおいて平均 8.8, 17.6, 26.6, 37.6 文字、直線状ベースラインレイアウトにおいて平均 8.6, 17.4, 26.5, 37.4 文字であった。

刺激文章は星新一氏のショートショート作品とし、1 話の文字数が 2000 字程度の 20 話を用いた。

### 6.3.3 手続き

実験協力者 20 名について、ベースライン形状（文節単位の階段状および直線状ベースラインの 2 種類）、1 行の基準文字数（11, 20, 29, 40 の 4 段階）、および刺激文章（20 話）を変更しながら、眼球運動と読み速度を計測した。

また、実験協力者 20 名のうち 6 名については、改行せずに表示した一文において眼球運動を計測した。一文は、刺激文章 20 話のなかから 20 ～ 30 文字程度の 40 文抽出した。一文と階段状ベースラインの有無に偏りが生じないようにあらかじめ調整し、文節単位の階段状ベースラインおよび直線状ベースラインでそれぞれ 20 文ずつ計測した。

### 6.3.4 装置

実験協力者の眼球運動は、視線検出装置 EMR-9 を用いて計測した。

## 6.4 結果

文節単位の階段状ベースラインレイアウトの効果を検証するために、本章ではまず、読み速度と停留時間および停留数の変化について分析した。次に、停留数の増減に関する、逆行による過剰停留、改行運動中の過剰停留、順行サッカードの長さ、および 1 文節あたりの停留率について分析した。

### 6.4.1 読み速度

図 6.2 は、階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける読み速度の変化を示したものである。縦軸は読み速度、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

文節単位の階段状ベースラインレイアウトにおける読み速度は、直線状ベースラインレイアウトよりも速く、長い行長ほどレイアウト間の値の差は広がる傾向が認められた。例えば、1 行の基準文字数 40 の場合には、直線状ベースラインレイアウトの平均読み速度  $820 \pm 53$  文字/分 (S.E.;  $N=20$ ) に対して、階段状ベースラインレイアウトでは平均  $912 \pm 55$  文字/分 (S.E.;  $N=20$ ) と +11 % の増加、読み速度にして +92 文字/分の増加が認められた。

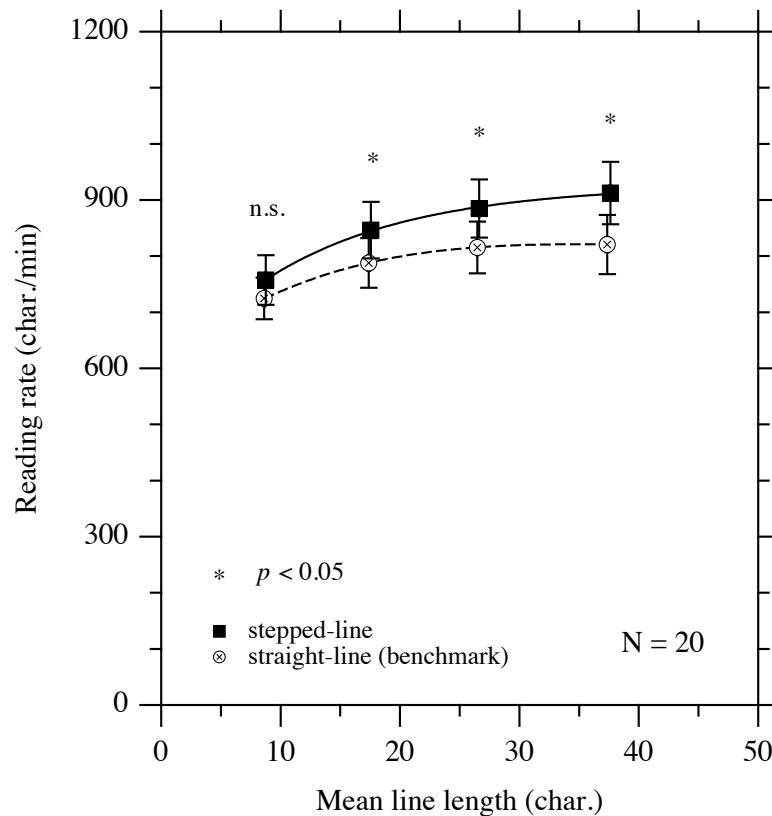


図 6.2 階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける，読み速度と平均行長の関係，誤差範囲は標準誤差。

各行長で  $t$  検定を行ったところ，1 行の基準文字数 20 で  $t[19] = 2.25$ ,  $p < 0.05$ ，1 行の基準文字数 29 で  $t[19] = 2.11$ ,  $p < 0.05$ ，および 1 行の基準文字数 40 で  $t[19] = 2.32$ ,  $p < 0.05$  と，その差は両側 5 %水準で有意であった。ただし，1 行の基準文字数 11 においては，両側 5 %水準の  $t$  検定では有意であると言えなかった。

したがって，一定の長さで改行する従来の日本語レイアウトに対して，改行位置を文節間に設定する第 5 章の手法で向上した読み速度は，本章の文節単位で文字ベースラインを階段状に下げていく仕組みの付与によって，理解度を維持したまま，1 行の基準文字数 20 ～ 40 の範囲で，さらに向上できることがわかった。

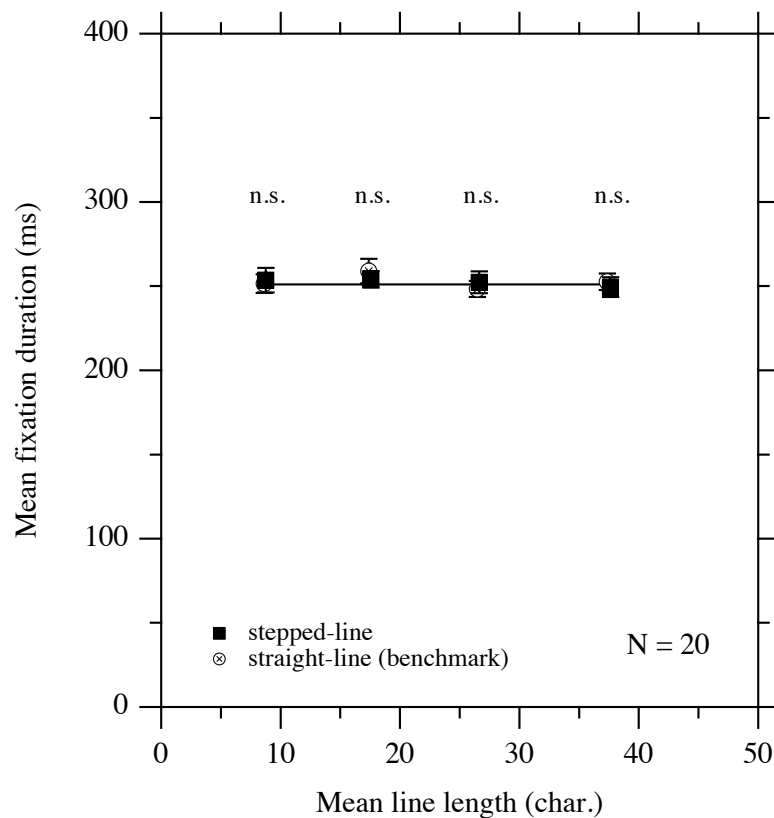


図 6.3 階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける，平均停留時間と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

#### 6.4.2 平均停留時間

図 6.3 は，階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける平均停留時間の変化を示したものである．縦軸は平均停留時間，横軸は平均行長，誤差範囲は全て標準誤差である．

平均停留時間におけるレイアウト間の差は，両側 5 %水準で有意と言えなかった．また，両レイアウトともに，行長に依らず一定の値を示す傾向が認められた．

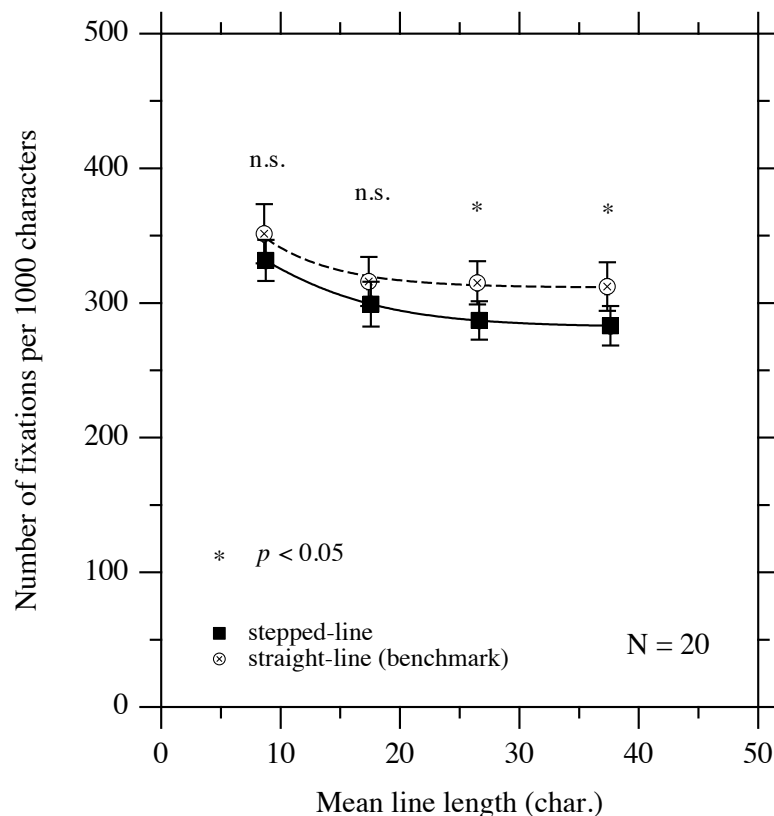


図 6.4 階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける，刺激文章 1000 文字あたりの停留数と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

### 6.4.3 停留数

図 6.4 は，階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける 1 刺激文章あたりの停留数の変化を示したものである．1 刺激文章あたりの停留数の比較には，1000 文字で正規化した値を用いた．縦軸は刺激文章 1000 文字あたりの停留数，横軸は平均行長，誤差範囲は全て標準誤差である．

階段状ベースラインレイアウトにおける停留数は，直線状ベースラインレイアウトよりも少ない傾向が認められた．また，行長が長いほど，レイアウト間の値の差は広がる傾向が認められた．各行長で  $t$  検定を行ったところ，1 行の基準文字数 29 で  $t[19] = 2.73$ ,  $p < 0.05$ ，および 1 行の基準文字数 40 で  $t[19] = 2.74$ ,  $p < 0.05$  と，その差は両側 5 %水準で有意であった．

したがって，1 停留あたりの平均時間に関してはどちらのレイアウトも同じであるが，停留の回数に関しては階段状ベースラインレイアウトの方が少ないことがわかった．

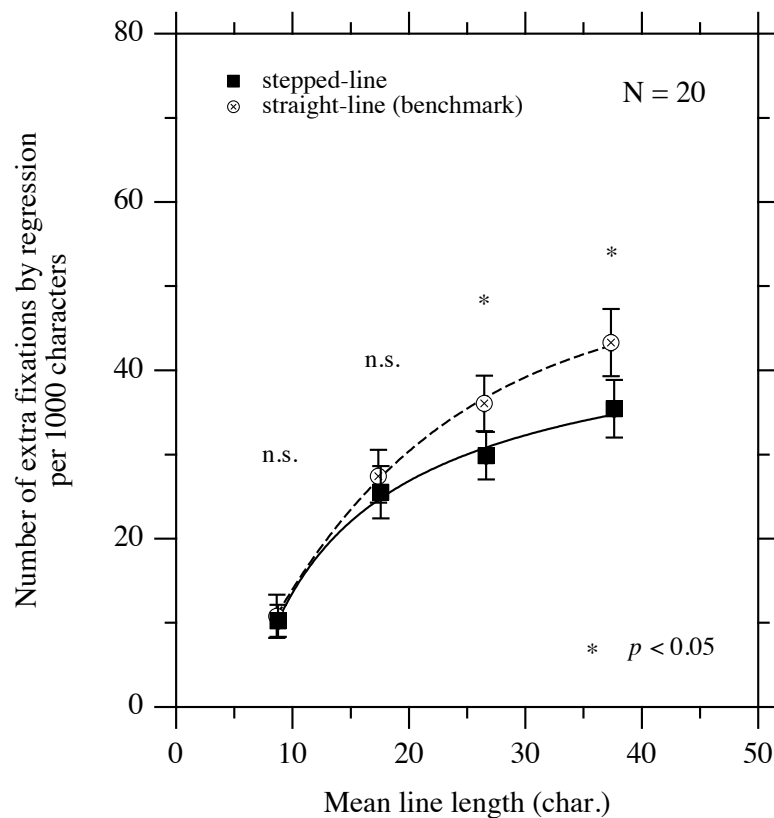


図 6.5 階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける，刺激文章 1000 文字あたりの逆行による過剰停留数と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

#### 6.4.4 逆行による過剰停留数

図 6.5 は，階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける逆行による過剰停留数の変化を示したものである．1 刺激文章あたりの逆行による過剰停留数の比較には，1000 文字で正規化した値を用いた．縦軸は刺激文章 1000 文字あたりの逆行による過剰停留数，横軸は平均行長，誤差範囲は標準誤差である．

階段状ベースラインレイアウトにおける逆行による過剰停留数は，直線状ベースラインレイアウトよりも少ない傾向が認められた．また，行長が長いほど，レイアウト間の値の差は広がる傾向が認められた．各行長で  $t$  検定を行ったところ，1 行の基準文字数 29 で  $t[19] = 2.88$ ,  $p < 0.05$ ，および 1 行の基準文字数 40 で  $t[19] = 2.48$ ,  $p < 0.05$  と，その差は両側 5 %水準で有意であった．



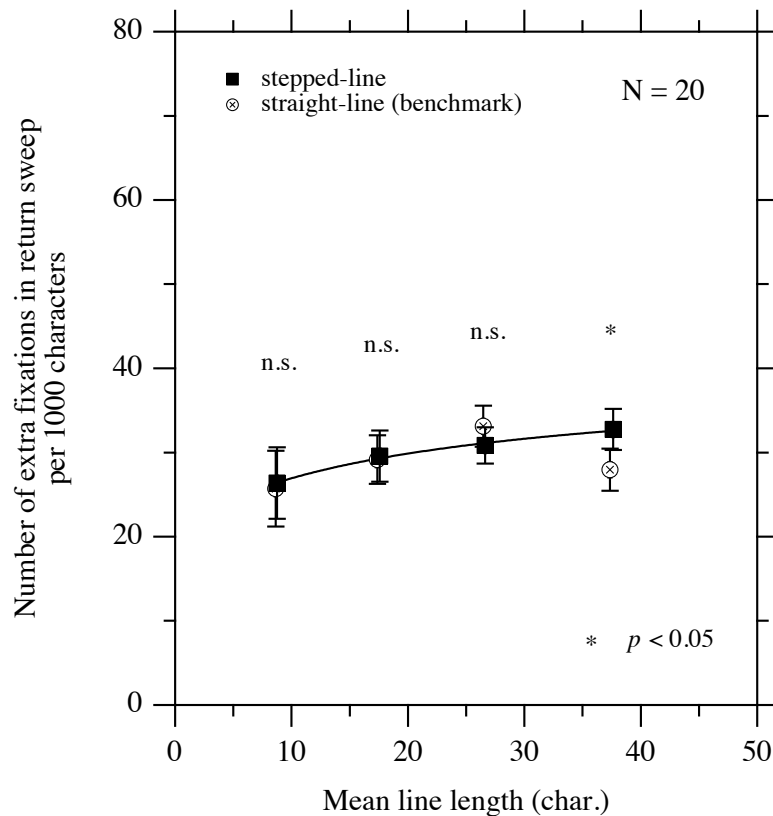


図 6.6 階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける，刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

#### 6.4.5 改行運動中の過剰停留数

図 6.6 は，階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける改行運動中の過剰停留数の変化を示したものである．1 刺激文章あたりの改行運動中の過剰停留数の比較には，1000 文字で正規化した値を用いた．縦軸は刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数，横軸は平均行長，誤差範囲は標準誤差である．

改行運動中の過剰停留に関しては，逆行による過剰停留とは異なり，レイアウト間の値に大きな差は認められなかった．ただし，各行長で  $t$  検定を行ったところ，1 行の基準文字数 40 の場合のみ，階段状ベースラインレイアウトの方が直線状ベースラインレイアウトよりも改行運動中の過剰停留が多く， $t[19] = 2.68$ ， $p < 0.05$  と両側 5 %水準で有意な差が認められた．

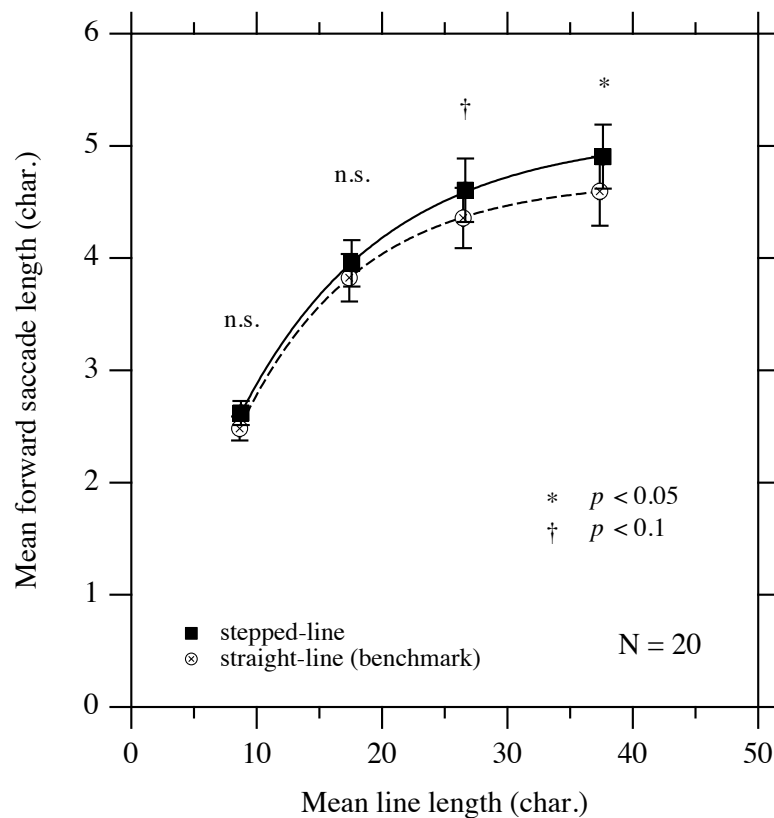


図 6.7 階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける，平均順行サッカード長と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

#### 6.4.6 平均順行サッカード長

図 6.7 は，階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける，平均順行サッカード長の変化を示したものである．縦軸は平均順行サッカード長，横軸は平均行長，誤差範囲は標準誤差である．

階段状ベースラインレイアウトにおける平均順行サッカード長は，直線状ベースラインレイアウトよりも長い傾向が認められた．また，行長が長いほど，レイアウト間の値の差は広がる傾向が認められた．各行長で  $t$  検定を行ったところ，1 行の基準文字数 40 では  $t[19] = 2.10$ ,  $p < 0.05$  と両側 5 %水準で有意であった．また，1 行の基準文字数 29 においても  $t[19] = 1.85$ ,  $p < 0.1$  と，両側 5 %水準で有意傾向にあった．

**表 6.1** 文節単位の階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける，1 文節あたりの停留率の変化．実験協力者 6 名，改行せずに表示した 20 ～ 30 文字程度の一文，階段状および直線状ベースラインで各 20 文（各約 93 文節）ずつ計測．

	Mean fixation rate per <i>bunsetsu</i> (%)		
	Straight-line (benchmark)	Stepped-line	Sig. diff.
Total fixation	118 ± 4	101 ± 3	*
(a) Initial fixation	86 ± 2	88 ± 2	n.s.
(b) Forward re-fixation	19 ± 3	10 ± 2	*
(c) Backward re-fixation	13 ± 3	3 ± 1	*

\*  $p < 0.05$

#### 6.4.7 1 文節あたりの停留率

表 6.1 は，階段状および直線状ベースラインレイアウトにおける，1 文節あたりの停留率の変化を示したものである．1 文節あたりの停留率の内訳である「(a) 1 文節あたりの初停留率」「(b) 1 文節あたりの順行再停留率」「(c) 1 文節あたりの逆行再停留率」の変化もあわせて示した．

階段状ベースラインレイアウトでは 1 文節あたりの停留率が減少しており，その差は  $t[5] = 3.50$ ,  $p < 0.05$  と両側 5 %水準で有意であった．さらに停留率の内訳を見ると，階段状ベースラインの有無で差が認められるのは順行再停留率および逆行再停留率のみであり，初停留率は一定であることがわかった．順行再停留率および逆行再停留率は階段状ベースラインレイアウトで減少しており，それぞれ  $t[5] = 3.29$ ,  $p < 0.05$  および  $t[5] = 3.63$ ,  $p < 0.05$  とその差は両側 5 %水準で有意であった．初停留率については，両側 5 %水準で有意と言えなかった．

したがって，階段状ベースラインレイアウトでは 1 文節あたりの停留率が減少しており，その原因は文節内の再停留の減少にあることがわかった．

## 6.5 考察

階段状ベースラインレイアウトでは、直線状ベースラインレイアウトよりも速く読めることがわかった。本節ではその原因について考察する。なお、両レイアウトの差は階段形状の有無のみであり、改行位置は両レイアウトともに文節間である。

図6.4より、階段状ベースラインレイアウトでは、直線状ベースラインレイアウトよりも少ない停留数で読み進めていることがわかる。一方、図6.3より、平均停留時間はレイアウト間で違いが認められなかった。得られた平均停留時間は約 250 ms であり、従来研究の 2.2.1 項で述べた停留時間や、第4章や第5章の平均停留時間と同等である。したがって、階段状ベースラインレイアウトにおける読み速度の向上は、停留時間がほぼ一定のまま、停留数が減少することによってもたらされたものと推察される。そして、停留数の減少は、図6.5、図6.6、図6.7、表6.1より、逆行による過剰停留数の減少、順行サッカード長の伸長、そして1文節あたりの再停留率の減少が主な原因であることがわかった。

従来研究の 2.3 節で述べたように、次に停留すべき最適な場所を飛び越えてしまった場合には、逆行による戻りが発生し、次に停留すべき最適な場所より手前に停留してしまった場合は、追加で短い順行サッカードが発生する (O'R92a, 中條 99)。戻りの増加は逆行による過剰停留数の増加に反映され、追加の短い順行サッカードの発生は平均順行サッカード長の短縮に反映されることとなる。階段状ベースラインレイアウトでは、1文節あたりの再停留率が減少するとともに、逆行数が減少し、平均順行サッカード長も伸長していることから、隣り合う文節が上下方向にずれて配置されるという階段状ベースラインレイアウトの視覚的な特徴が、次の停留先を選定する視覚系処理に正の影響を与えている可能性が推察された。

また、階段状ベースラインレイアウトにおける読み効率向上は、あくまで読者が自発的に制御した視点移動で得られた結果という点で、大きな意味を持つ。従来研究の 2.5.2 項で述べた RSVP のような、読者の視点を固定して電子リーダー側で表示制御する手法では、短時間で次々と切り替わる文字列を極めて高い集中力をもって読み続けなければならず、早く読むことはできても読み心地が低下する問題が指摘されていた (Bou74, Mas83, Rub92)。一方、階段状ベースラインレイアウトでは、実験協力者 20 名のうち 16 名が「意識しなかった」「違和感なかった」「気付くが気にならなかった」等の特別な負荷を感じなかった旨の感想を述べており、「気になる」と答えた実験協力者は 2 名、直線状ベースラインレイアウトよりも「読みにくい」と答えた実験協力者は 2 名に留まった。ただし、読みに

くいと答えた実験協力者2名においても、1名の読み速度は階段状ベースラインレイアウトで平均9%向上しており、もう1名の読み速度も階段状ベースラインレイアウトで平均-4%の低下に留まっていた。

階段状ベースラインレイアウトにおける隣り合う文節間のずらし幅は文字高の7.5%分という非常に微妙な差であるが、微妙な差であるからこそ文字の並びに大きな変化はなく、読み心地に影響を与えにくいのかかもしれない。階段状のベースラインが読みプロセスに与える影響についてはさらなる検証が必要であるが、階段状ベースラインレイアウトによる読み効率の向上は、読者に特別な負荷をかけることなく実現できている可能性が推察された。

## 6.6 小括

本章では、第5章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え、さらに文字ベースラインを文節ごとに階段状に下げる手法によって文節単位の視認性を向上させるレイアウトを提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した。

文節単位の階段状ベースラインレイアウトでは、通常の直線状ベースラインのレイアウトよりも、理解度を維持したまま、速く読めることがわかった。このとき、91%の実験協力者が読み心地の低下を感じなかったこともわかった。階段状ベースラインレイアウトにおける読み速度は、直線状ベースラインのレイアウトにおける読み速度よりも、1行の基準文字数20～40（平均17.6～37.6文字/行）の範囲において、7～11%向上した。読み速度の向上は停留数の減少によってもたらされており、「逆行数の減少」と「順行サックカード長の伸長」が主な原因と推察された。改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で階段状に文字ベースラインを下げていくレイアウトは、比較的長い1行の基準文字数20～40の行長範囲で読み効率の向上をうながす有効な表示方式であることがわかった。

## 第7章

# 文字配置の設計 (II) : 文節単位の微振動テキスト

本章では、第6章の階段状ベースラインレイアウトでは改善されなかった比較的短い行長の読み効率向上を図るべく、第5章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節ごとに異なるタイミングで文字を微振動させる表示方式を提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証する。

### 7.1 緒言

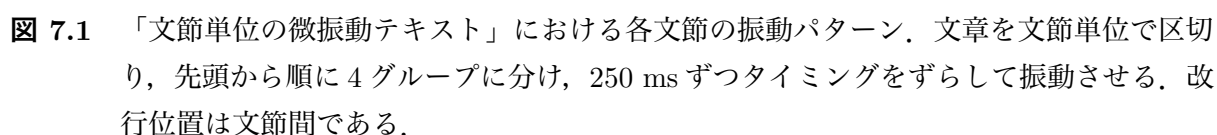
第5章および第6章より、文節間改行レイアウトに対して文節単位の階段状ベースラインを付与することで、1行あたり20～40文字の行長において視点移動の効率化が認められた。隣り合う文節が上下にずれて配置されるという階段状ベースラインの視覚的特徴が、次の停留先を選定する視覚系処理に正の影響を与えている可能性が推察された。しかし、1行あたり20文字に満たない行長では視点移動の効率化が発現しておらず、短い行長では階段状ベースラインよりも強く文節単位を明示する仕組みが必要とされていた。

そこで本章では、階段状ベースラインよりも文節単位を強く認識しやすいように、文節のまとまりごとに異なるタイミングで文字を左右に微振動させる電子リーダーを提案し、その効果を詳しく検証することとした。

### 7.2 提案手法：文節単位の微振動テキスト

図7.1、図7.2、および図7.3に示すのが、本論文で提案する「文節単位の微振動テキスト」を有する電子リーダーである。隣り合う文節が異なるタイミングで微振動しており、文節単位の微振動そのものに加え、その振動によって文節間に疎な状態と密な状態が周期的に生み出されることを特徴とする。この文節間の疎密変化を境界情報とし、文節単位の視点移動を促す効果を狙った。

まず、文頭から文字を並べていき、1行の基準文字数で改行したときに文節が分断され



次に、並べた文節を 4 グループに分け、さらに各グループを 250 ms ずつタイミングをずらして振動させる。250 ms の値は、第 2 章で述べた平均停留時間、および第 4 章で見出されたサッカード時間を含む平均停留時間 240 ~ 257 ms と概ね一致するよう選択したものである。

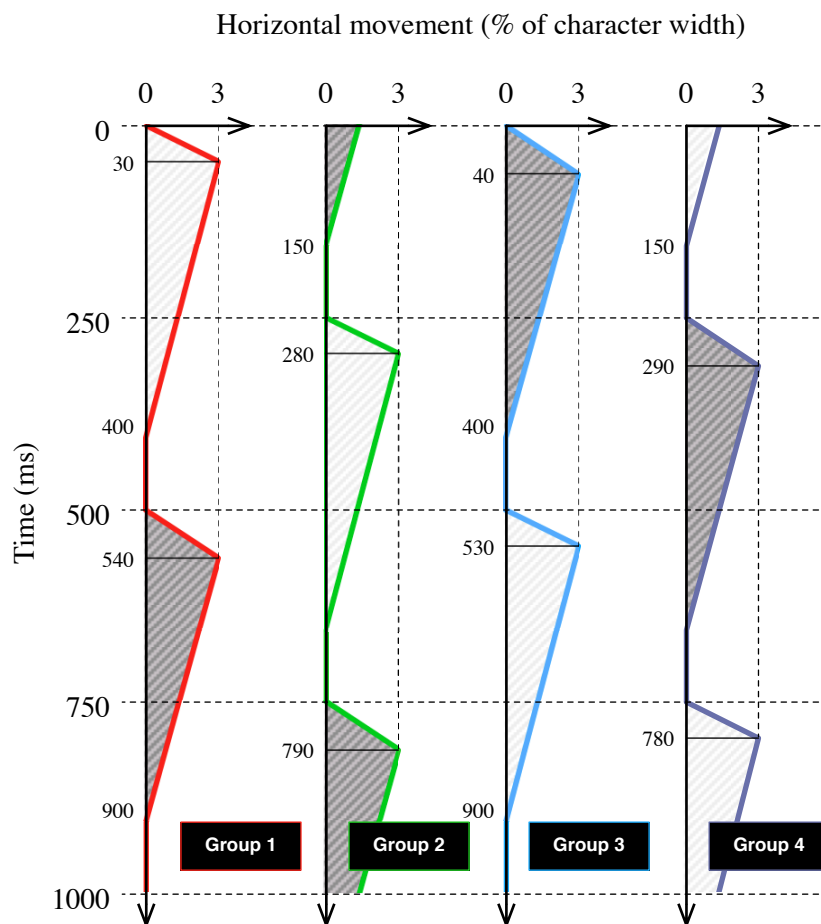


図 7.2 「文節単位の微振動テキスト」における各文節の振動パターン。先頭から順に 4 グループに割り当てられた文節単位は、250 ms ずつタイミングをずらして振動させる。振幅は文字幅の 3% 分であり、素早く右に動かして、ゆっくり左に戻す。振動の周期は 1000 ms であり、実験終了まで継続する。

振幅は文字幅の 3 % 分であり、素早く右に動かして、ゆっくり左に戻す。3 % の値は、隣り合う文節が最接近した際にも文字が重ならないように配慮したものである。振動周期は 1000 ms であり、1000 ms の間に 2 回振動させる。また、画面全体が一様に揺れて見えるのを抑制するために、1 回目と 2 回目の振動パターンをわずかに変化させる。1 回目は 30 ms で右に動かし、370 ms かけて元の位置に戻し、100 ms 静止させる。2 回目は 40 ms で右に動かし、360 ms かけて元の位置に戻し、100 ms 静止させる。振動は実験終了まで継続し、スクロール操作中を含めて、途中で停止することはない。



## もし電子リーダーの利用で

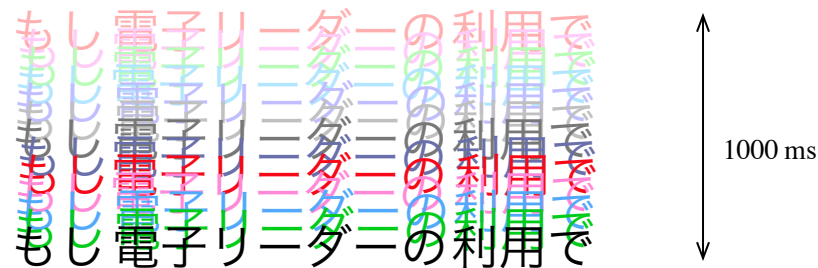


図 7.3 「文節単位の微振動テキスト」における 1000 ms 間の文字移動軌跡。振幅は文字幅の 3 %分と微小であるが、振動ははっきりと知覚される。

### 7.3 実験

本章では，文節単位の微振動テキストの効果を検証するために，微振動の有無，行長，および刺激文章を変更しながら，読み速度と眼球運動を計測した。本論文で共通する実験条件や手続きに関しては第 3 章を参照されたい。

#### 7.3.1 実験協力者

大学生 17 名（男性 14 名，女性 3 名，年齢 19 ～ 23 歳）が実験に参加した。

#### 7.3.2 刺激

文節単位の微振動テキストの効果を検証するために，微振動の有無のみが異なる「文節単位の微振動テキスト」および「静止テキスト」の 2 種類の表示方式を準備した。両表示方式ともに，改行位置は文節間に設定され，横向きモードの iPad 上に描画された。なお，静止テキストは，第 5 章において「文節間改行レイアウト」と表記されるレイアウトと同一である。

1 行の基準文字数は 5，11，20，29，40 の 5 段階に設定し，それぞれ 1 行の基準文字数を超えない条件で最長となる文節間で改行した。ただし，1 文節の長さが 1 行の基準文字

数を超えた場合は、当該文節を分断することなく、そのまま1行として採用した。なお、文節の長さは一定でないため、1行あたりの文字数にはばらつきが生じる。基準文字数5, 11, 20, 29, 40に対する1行あたりの平均文字数は、微振動条件において平均4.8, 8.8, 17.9, 26.5, 37.7文字、静止条件において平均4.7, 8.7, 17.7, 26.5, 37.6文字であった。

刺激文章は星新一氏のショートショート作品とし、1話の文字数が2000字程度の26話を用いた。

### 7.3.3 手続き

実験協力者17名について、微振動の有無、1行の基準文字数(5, 11, 20, 29, 40の5段階)、および刺激文章(26話)を変更しながら、読み速度と眼球運動を計測した。

また、実験協力者17名のうち9名については、改行せずに表示した一文において、文節単位で微振動させた場合の眼球運動を計測した。一文は、刺激文章26話のなかから20～30文字程度の40文抽出した。一文と振動条件の有無に偏りが生じないようにあらかじめ調整し、微振動条件および静止条件でそれぞれ20文ずつ計測した。

### 7.3.4 装置

実験協力者の眼球運動は、視線検出装置EMR-9を用いて計測した。

## 7.4 結果

文節単位の微振動テキストの効果を検証するために、本章では、読み速度、平均停留時間、停留数、1行を1停留で読む割合、および1文節あたりの停留率について分析した。

### 7.4.1 読み速度

図7.4は、微振動および静止テキストにおける読み速度の変化を示したものである。縦軸は読み速度、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

微振動テキストの読み速度は、1行の基準文字数11を中心に、静止テキストよりも速い傾向が認められた。1行の基準文字数11の場合には、静止テキストの平均読み速度 $727 \pm 49$ 文字/分(S.E.;  $N=17$ )に対して、微振動テキストでは平均 $813 \pm 50$ 文字/分(S.E.;  $N=17$ )と+12%の増加、読み速度にして+86文字/分の増加が認められた。各行長で $t$ 検定を行ったところ、1行の基準文字数11で $t[16] = 2.84$ ,  $p < 0.05$ と、その差は両側5%水準で有意であった。また、1行の基準文字数20で $t[16] = 1.88$ ,  $p < 0.1$ , および

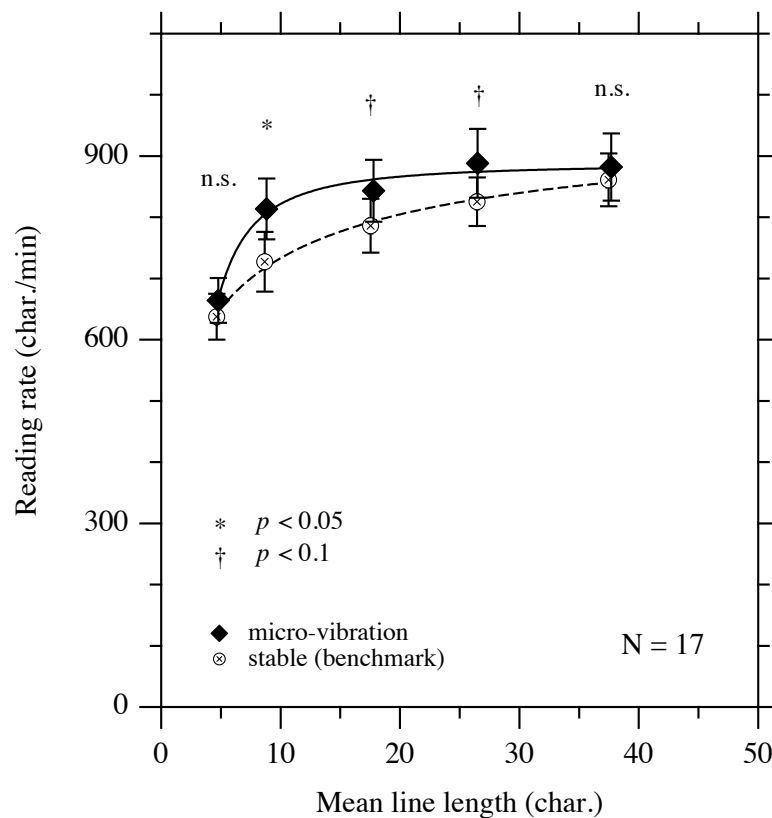


図 7.4 文節単位の微振動および静止テキストにおける，読み速度と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

1 行の基準文字数 29 で  $t[16] = 1.78$ ,  $p < 0.1$  と，その差は両側 5 %水準で有意な傾向にあった．一方，1 行の基準文字数 5 および 40 では，微振動の有無で有意な差があるとは言えなかった．

したがって，一定の長さで改行する従来の日本語レイアウトに対して，改行位置を文節間に調整する第 5 章の仕組みで向上した読み速度は，本章の文節単位で文字を左右に微振動させる仕組みの付与によって，理解度を維持したまま，1 行の基準文字数 11 ～ 29 の範囲で，さらに向上できることがわかった．

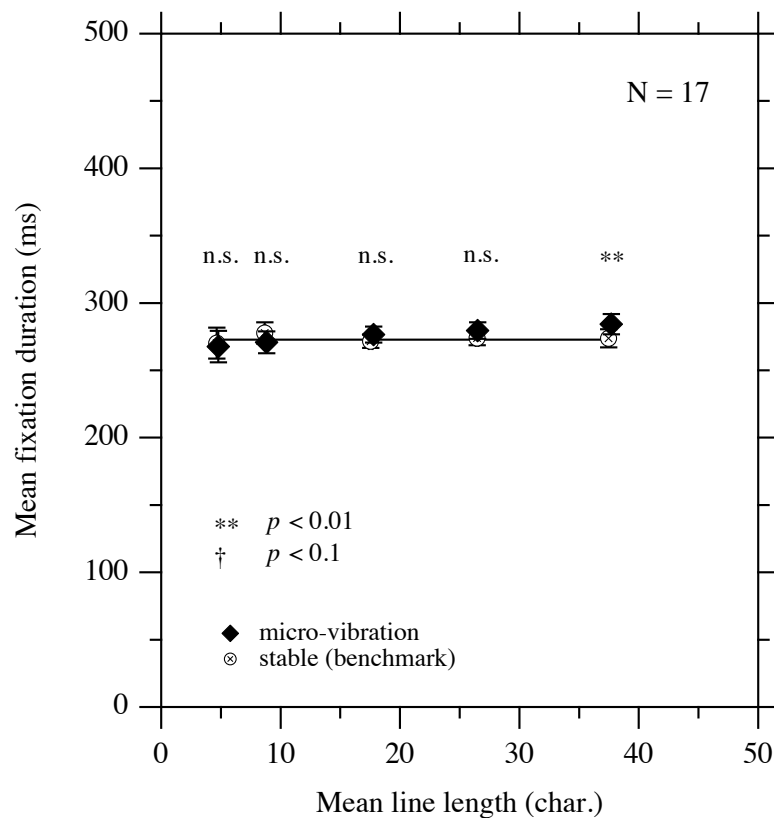


図 7.5 文節単位の微振動および静止テキストにおける，平均停留時間と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

#### 7.4.2 平均停留時間

図 7.5 は，微振動および静止テキストにおける 1 刺激文章あたりの平均停留時間の変化を示したものである．左軸は平均停留時間，横軸は平均行長，誤差範囲は標準誤差である．

平均停留時間は，1 行の基準文字数 5，11，20，29 において微振動の有無で有意な差は認められなかった．ただし，1 行の基準文字数 40 においては微振動テキストの方が静止テキストよりも長くなる傾向が認められ，その差は  $t[16] = 2.97$ ， $p < 0.01$  と両側 5 % 水準で有意であった．

#### 7.4.3 停留数

停留数の変化は 3 段階にわけて検証する．まず，全停留数の変化について分析する（図 7.6）．次に，全停留数を，順方向のサッカードによる停留数と，改行運動を含む逆方向のサッカードによる停留数に分けて，それぞれの変化を分析する（図 7.7）．最後に，

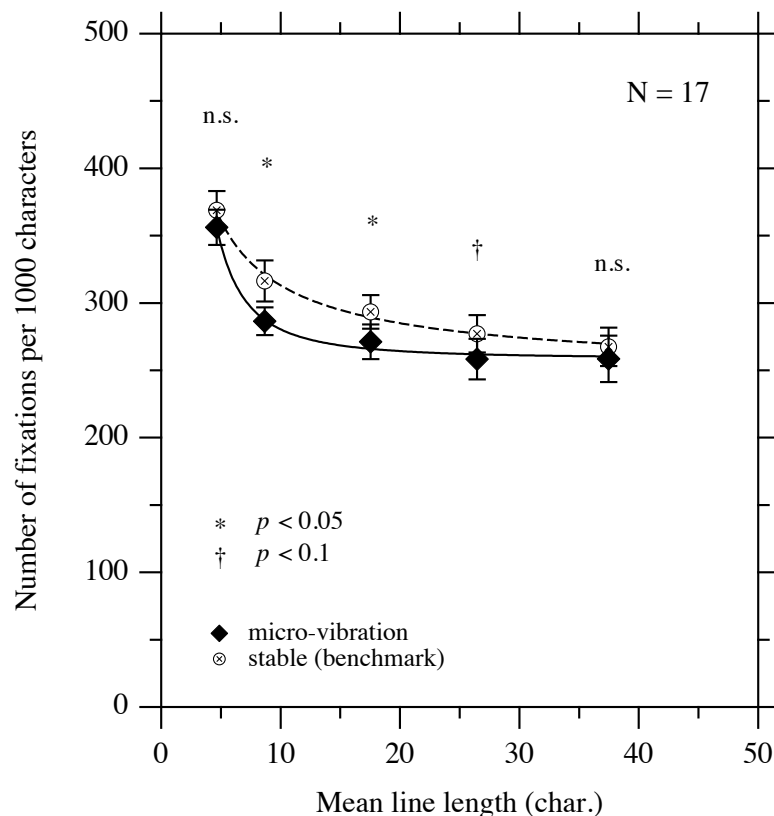


図 7.6 文節単位の微振動および静止テキストにおける、刺激文章 1000 文字あたりの停留数と平均行長の関係。誤差範囲は標準誤差。

改行運動中の過剰停留数の変化について分析する（図 7.8）。

図 7.6 は、微振動および静止テキストにおける 1 刺激文章あたりの停留数の変化を示したものである。1 刺激文章あたりの停留数の比較には、1000 文字で正規化した値を用いた。左軸は刺激文章 1000 文字あたりの停留数、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

微振動テキストにおける停留数は、静止テキストよりも少ない傾向が認められた。また、1 行の基準文字数 11, 20, 29 の範囲において、その値の差は広がる傾向が認められた。各行長でそれぞれ  $t$  検定を行ったところ、1 行の基準文字数 11 で  $t[16] = 2.66$ ,  $p < 0.05$  および基準文字数 20 で  $t[16] = 2.70$ ,  $p < 0.05$  と両側 5 % 水準で有意、基準文字数 29 で  $t[16] = 1.93$ ,  $p < 0.1$  と両側 5 % 水準で有意傾向であった。1 行の基準文字数 5 および 40 では、両側 5 % 水準で有意な差があるとは言えなかった。

図 7.7 は、微振動および静止テキストにおける 1 刺激文章あたりの順方向のサッカードによる停留数と、改行運動を含む逆方向のサッカードによる停留数の変化を示したものである。1 刺激文章あたりの停留数の比較には、1000 文字で正規化した値を用いた。左

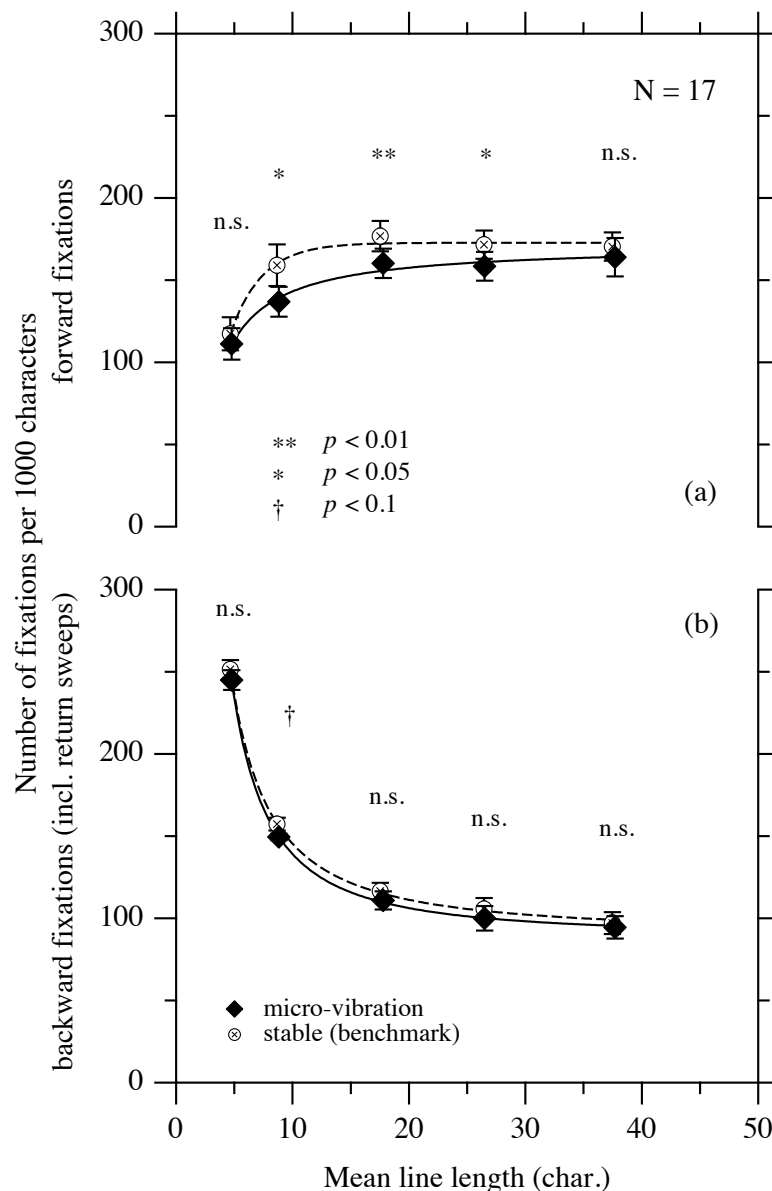


図 7.7 文節単位の微振動および静止テキストにおける，刺激文章 1000 文字あたりの (a) 順方向のサッカードによる停留数および (b) 改行運動を含む逆方向のサッカードによる停留数と平均行長の関係，誤差範囲は標準誤差。

軸 (a) は刺激文章 1000 文字あたりの順方向のサッカードによる停留数，左軸 (b) は刺激文章 1000 文字あたりの改行運動を含む逆方向のサッカードによる停留数，横軸は平均行長，誤差範囲は標準誤差である。

まず，微振動テキストにおける順方向のサッカードによる停留数は，静止テキストよりも少ない傾向が認められた。また，1 行の基準文字数 11，20，29 の範囲において，その値の差は広がる傾向が認められた。各行長でそれぞれ  $t$  検定を行ったところ，1 行の基

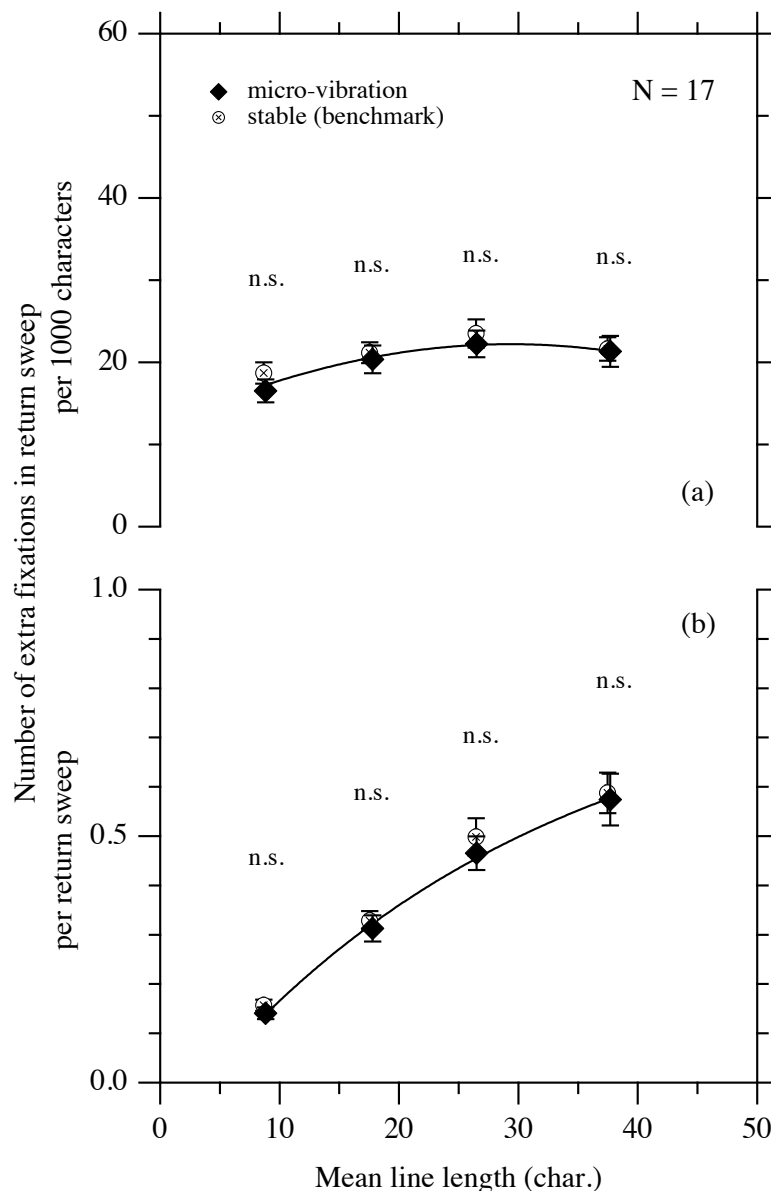


図 7.8 文節単位の微振動および静止テキストにおける，(a) 刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数および (b) 1 改行運動あたりの過剰停留数と平均行長の関係．誤差範囲は標準誤差．

準文字数 11 で  $t[16] = 2.88$ ,  $p < 0.05$ , 基準文字数 20 で  $t[16] = 3.09$ ,  $p < 0.01$ , 基準文字数 29 で  $t[16] = 2.12$ ,  $p < 0.05$  と，両側 5 %水準で有意であった．1 行の基準文字数 5 および 40 では，両側 5 %水準で有意な差があるとは言えなかった．

次に，改行運動を含む逆方向のサッカードによる停留数は，1 行の基準文字数 11 を除いて，微振動テキストによる有意な差は認められなかった．各行長でそれぞれ  $t$  検定を行ったところ，1 行の基準文字数 11 で  $t[16] = 1.90$ ,  $p < 0.1$  と両側 5 %水準で有意傾向

となったが、1 行の基準文字数 5, 20, 29, 40 では、有意な差があるとは言えなかった。

図 7.8 は、微振動および静止テキストにおける改行運動中の過剰停留数の変化を示したものである。1 刺激文章あたりの改行運動中の過剰停留数の比較には、1000 文字で正規化した値を用いた。縦軸 (a) は刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数、縦軸 (b) は 1 改行運動あたりの過剰停留数、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

改行運動中の過剰停留に関しては、刺激文章 1000 文字あたりの過剰停留数および 1 改行運動あたりの過剰停留数ともに、微振動の有無で有意な差があるとは言えなかった。

以上、図 7.6, 図 7.7, 図 7.8 より、微振動テキストでは 1 行の基準文字数 11, 20, 29 の範囲において全停留数が減少する傾向にあり、その主な原因は順方向のサッカードによる停留の減少であることがわかった。

#### 7.4.4 1 行を 1 停留で読む割合

表 7.9 は、微振動および静止テキストにおける、1 行を 1 停留で読む割合を示したものである。縦軸は全行に占める 1 停留で読んだ行の割合、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

微振動テキストでは、1 行の基準文字数 11 において、静止テキストの場合よりも多くの行を 1 停留で読み進めており、その差は  $t[16] = 3.08$ ,  $p < 0.01$  と、両側 5 %水準で有意であった。その他の行長に関しては、微振動の有無で有意な差があるとは言えなかった。

#### 7.4.5 1 文節あたりの停留率

図 7.1 は、微振動および静止テキストにおける、1 文節あたりの停留率の変化を示したものである。1 文節あたりの停留率の内訳である「(a) 1 文節あたりの初停留率」「(b) 1 文節あたりの順行再停留率」「(c) 1 文節あたりの逆行再停留率」の変化もあわせて示した。

微振動テキストでは 1 文節あたりの停留率が減少しており、その差は  $t[8] = 7.31$ ,  $p < 0.01$  と両側 5 %水準で有意であった。さらに停留率の内訳を見ると、微振動の有無で差が認められるのは順行再停留率および逆行再停留率のみであり、初停留率は一定であることがわかった。順行再停留率および逆行再停留率は微振動テキストで減少しており、それぞれ  $t[8] = 7.11$ ,  $p < 0.01$  および  $t[8] = 3.41$ ,  $p < 0.01$  とその差は両側 5 %水準で有意であった。一方、初停留率は、微振動の有無で有意な差があるとは言えなかった。

したがって、微振動テキストでは 1 文節あたりの停留率が減少しており、その原因は文節内の再停留の減少にあることがわかった。



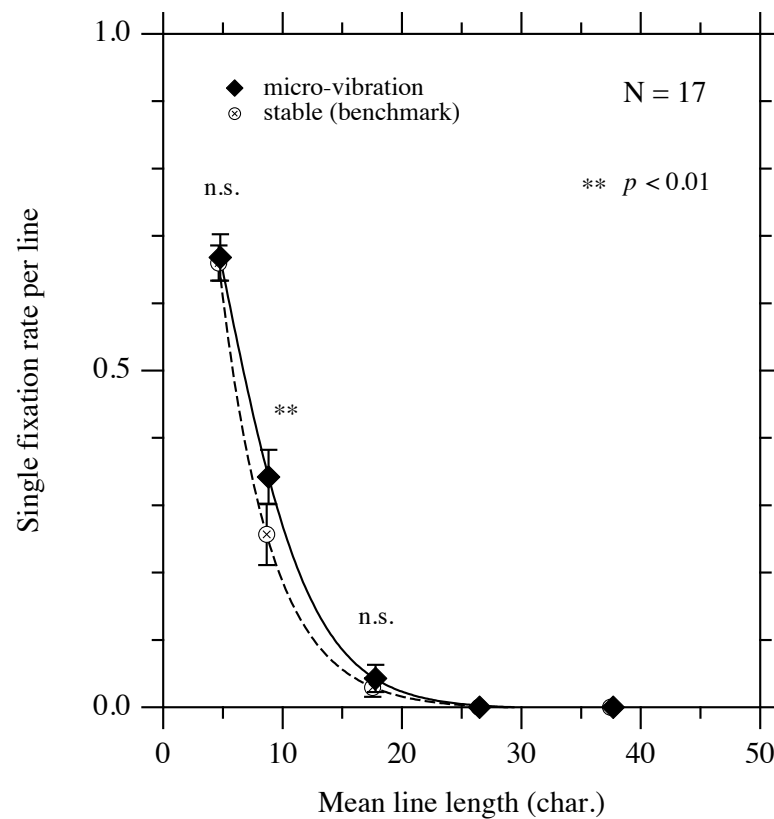


図 7.9 文節単位の微振動および静止テキストにおける，1 行を 1 停留で読む割合と平均行長の関係。誤差範囲は標準誤差。

表 7.1 文節単位の微振動および静止テキストにおける 1 文節あたりの停留率の変化。実験協力者 9 名，改行せずに表示した 20 ～ 30 文字程度の一文，微振動条件および静止条件で各 20 文（各約 93 文節）ずつ計測。

	Mean fixation rate per <i>bunsetsu</i> (%)		
	Stable (benchmark)	Micro-vibration	Sig. diff.
Total fixation	123 ± 4	104 ± 4	**
(a) Initial fixation	87 ± 2	87 ± 3	n.s.
(b) Forward re-fixation	23 ± 3	12 ± 2	**
(c) Backward re-fixation	13 ± 3	6 ± 2	**

\*\*  $p < 0.01$

## 7.5 考察

文節間で改行するとともに文節単位で微振動させた電子リーダーでは、1 行の基準文字数 11 ～ 29（平均 8.8 ～ 26.5 文字/行）の行長範囲において、通常の静止テキストよりも速く読めることがわかった。これは、読み速度の低下が課題となっていた 1 行あたり 20 文字に満たない短い行長において改善効果が確認された点で、重要な意味をもつ。

平均停留時間の変化を示した図 7.5 および停留数の変化を示した図 7.6 より、読み速度が向上した 1 行の基準文字数 11 ～ 29 の行長をもつ微振動テキストにおいては、停留数が減少している一方で、平均停留時間の変化は認められなかった。したがって、微振動テキストによる読み速度の向上は、停留数の減少に起因するものと推察される。

そして、停留数の減少の主な原因は、停留の詳細を分析した図 7.7、図 7.8、図 7.9 および図 7.1 より順方向のサッカードによる停留の減少にあり、微振動テキストでは「1 文節を 1 回で読み進む確率が向上していること」、特に 1 行の基準文字数 11 の行長の微振動テキストでは「1 停留で読み進める行が増大していること」に起因することがわかった。

微振動テキストでは隣り合う文節が異なるタイミングで微振動しており、文節単位の振動そのものに加え、その振動によって文節境界の密疎が動的に生み出されることを特徴とする。従来研究の 2.3 節で述べたように、英語のような単語間にスペースを有する言語では、スペースによる単語間の視覚的な境界情報が、視点移動に対して重要な役割を担っているとされるが (Pol82, Ray96a)、日本語の仮名漢字混合文ではスペースは境界情報として機能せず (松田 01, Sai07)、視点移動の有効な手がかりは視覚的に目立つ漢字とされていた (Osa89, Osa92, 荻阪 98, Sai07)。振動する文字が周辺視に与える影響についてはさらなる検証が必要であるが、本論文の微振動テキストでは、微振動する文字そのもの、もしくは異なるタイミングで微振動する文字によって生み出される動的な境界が、視点移動の有効な手がかりとして機能したことが推察された。

人間の目は、一点を注視中も固視微動と呼ばれる微小な運動を行っていることから (Pri61)、微振動テキストでは、目の固視微動に文字の微振動が重なった状態で読むことになる。実験協力者の読後の評価によると、実際に文章を読んでいる最中には文字の微振動が気にならないと回答した実験協力者は 17 名中 13 名 (76 %) と多い。注視中に振動する文字が視覚に与える影響についてはさらなる検証が必要であるが、500 ms 周期かつ文字幅 3 % 分の微振動テキストは、文字の読み取りに関して許容できる範囲内と推察される。

一方、「振動が気になる」と回答した実験協力者は 17 名中 2 名 (12 %)、「読みにくい」と回答した実験協力者は 17 名中 2 名 (12 %) であった。ただし、微振動が気になるまた

は読みにくいと回答した計4名全員が、微振動テキストにおいて読み速度が向上していた。「振動が気になって読めない」と回答した実験協力者はいなかった。本論文の微振動は文節単位であり、隣り合う文節を同時に見ることは逆に難しくなる。この特徴は、1文節よりも広い範囲を1回の停留で認識したい読者の読みに不快感をもたらす可能性が推察されるが、さらなる検証が必要である。

以上より、本章で提案した微振動テキストは、隣り合う文節が異なるタイミングで微振動しており、文節単位の微振動そのものに加え、その振動によって文節間に疎な状態と密な状態が周期的に生み出されることを特徴とする。振動する文字が中心視および周辺視に与える影響についてはさらなる検証が必要であるが、微振動する文節自体や動的な疎密変化による境界情報が視点移動の新たな手がかりとして機能した結果、1文節あたりの再停留率が減少し、順方向のサッカードによる停留の減少と1行を1停留で読む割合の増大をもたらした可能性が示唆された。

## 7.6 小括

本章では、第6章の階段状ベースラインレイアウトでは改善されなかった比較的短い行長の読み効率向上を図るべく、第5章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節ごとに異なるタイミングで文字を微振動させる表示方式「文節単位の微振動テキスト」を提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した。

文節単位の微振動テキストでは、静止テキストよりも、理解度を維持したまま、速く読めることがわかった。このとき、76%の実験協力者が読み心地の低下を感じなかったこともわかった。微振動テキストにおける読み速度は、静止テキストにおける読み速度よりも、1行の基準文字数11～29（平均8.8～26.5文字/行）の範囲において、7～12%向上した。読み速度の向上は停留数の減少によってもたらされており、「1文節あたりの再停留率の減少」および「1行を1停留で読む割合の増加に伴う停留の減少」が主な原因と推察された。この変化は1行の基準文字数11の短い行長で強く発現しており、文節単位で文字を微振動させた表示方式が、短い行長における視点移動の効率化を促す効果をもつことがわかった。

## 第8章

# 眼球運動とスクロール操作の協調設計： 階段インデント型単文節行レイアウト

本章では、第5～7章の手法では改善できなかった極めて短い5文字/行における読み効率向上を図るべく、指先のスクロール操作で発生する文字移動を眼球運動の一部と捉え、各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式を提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証する。

### 8.1 緒言

第7章より、改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節ごとに異なる位相で文字を微振動させる表示方式によって、1行あたり20文字に満たない短い行長でも、読み効率を向上できることがわかった。しかし、最も短い行長である1行の基準文字数5においては微振動の効果が発現せず、読み効率は低いままであった。

第5章の文節間改行レイアウトでは、1行の基準文字数5において、71%の行を1停留で読んでいることがわかった。最も短い行長の文節間改行レイアウトは、1行が意味的なまとまりの最小単位である1文節で構成されるという特徴をもつ。その結果、読者は視点をほとんど移動しなくとも、文字を指先でスクロール移動することで、次々読んでいくことも可能となる。このような読み方においては、スクロール移動する各行の視認性に加えて、目の動きと指先によるスクロール操作の協調的な連携が、読み効率を向上させるために重要となってくる。

そこで本章では、1行を1文節で構成する単文節行レイアウトに対して、行頭の階段状インデントという視覚的な特徴を追加することで、目の動きと指先によるスクロール操作の協調的な連携を容易にする効果を狙った電子リーダーを提案し、その効果を詳しく検証することとした。

## 8.2 提案手法：階段インデント型単文節行レイアウト

図8.2は、本論文で提案する「階段インデント型単文節行レイアウト」である。1行を1文節で構成することで文節単位の読みを促すとともに、階段状のインデントによって目の動きと指先によるスクロール操作の協調的な連携を容易にする効果を狙った。

階段インデント型単文節行レイアウトは、1行が1文節となる位置で改行するとともに、行頭が傾斜をもつように各行のインデント量を増やしていき、次の段落の最初の文節で画面左端に戻すように設計した。行頭の傾斜角は、スクロール移動中も幾何学的な特徴が認識しやすいように45 degを選択した。また、段落途中の文において、もし文節を配置した場合に、文節の右端が画面右端から左に1文字分の位置にある基準線を越える場合には、画面左端ではなく当該行のインデント量を8行目と同じ値まで戻し、再び当該行を始点に行頭傾斜が45 degとなるように各行のインデント量を増やすこととした。8行目のインデント量は、段落先頭と区別が付き、かつ段落内で頻繁に折り返しが発生しないように画面右端まで一定の距離をもつ値として選択された。

なお、本レイアウトは縦スクロール型電子リーダー上に描画され、読者自身のタッチパネル操作で上下にスクロール移動しながら読み進める。

## 8.3 実験

本章では、階段インデント型単文節行レイアウトを有する電子リーダーの効果を検証するために、レイアウトと刺激文章を変更しながら、読み速度と眼球運動を計測した。なお、本論文で共通する実験条件や手続きに関しては、第3章を参照されたい。

### 8.3.1 実験協力者

大学生27名（男性17名、女性10名、年齢19～24歳）が実験に参加した。

### 8.3.2 刺激

階段インデント型単文節行レイアウトの効果を検証するために、本章では図8.3-(a)(b)(c)に示す3種類のレイアウトを準備した。各レイアウトは縦向きモードのiPad上に描画された。

図8.3-(a)は、実験Iと同じ固定長改行レイアウトである。1行の文字数は全角5, 11, 20, 29文字とした。なお、階段インデント型単文節行レイアウトとの比較にあたって、

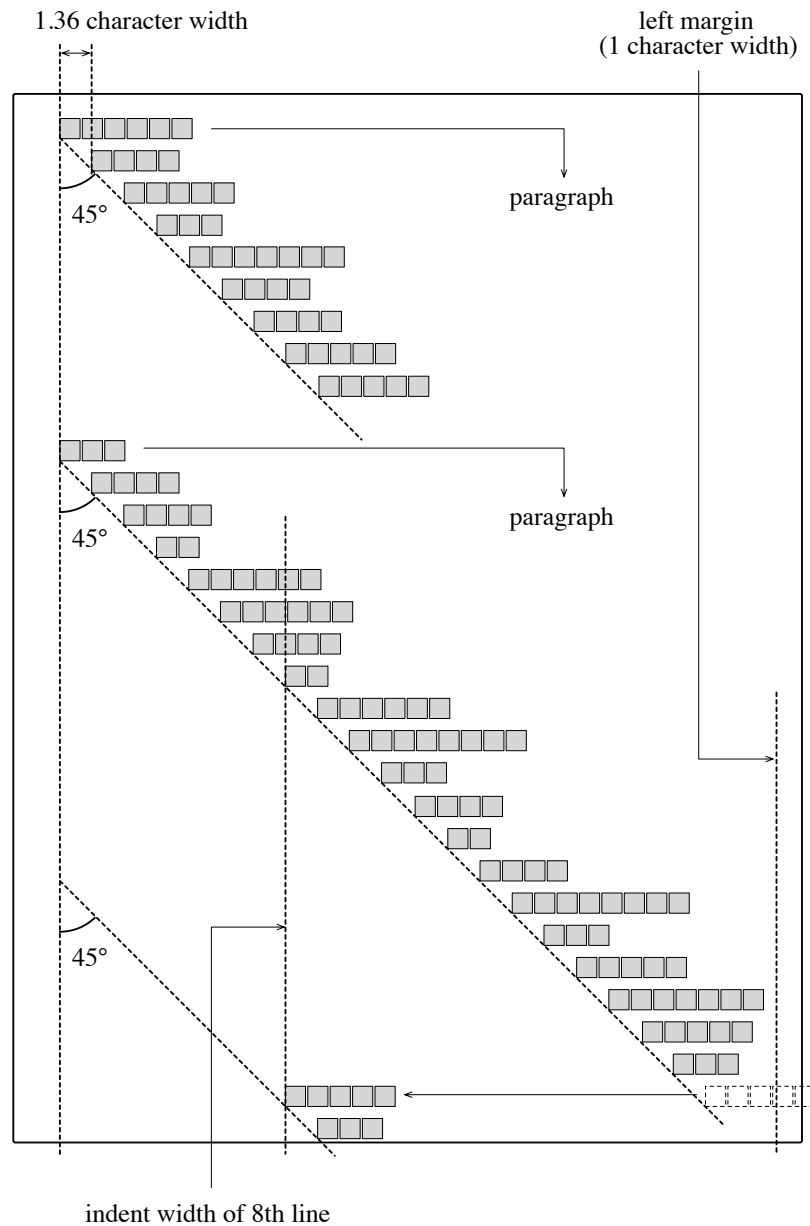


図 8.1 「階段インデント型単文節行レイアウト」の表示手法. 1 行が 1 文節となる位置で改行するとともに、行頭が傾斜をもつように各行のインデント量を増やしていき、次の段落の最初の文節で画面左端に戻すように設計した。行頭の傾斜角は、45 deg を選択した。また、段落途中の文において、もし文節を配置した場合に、文節の右端が画面右端から左に 1 文字分の位置にある基準線を越える場合には、画面左端ではなく当該行のインデント量を 8 行目と同じ値まで戻し、再び当該行を始点に行頭傾斜が 45 deg となるように各行のインデント量を増やすこととした。

1 行の文字数が 5 文字および 29 文字の場合を代表レイアウトとし、以後それぞれ「一行 5 文字レイアウト A」および「一行 29 文字レイアウト N」と表記する。

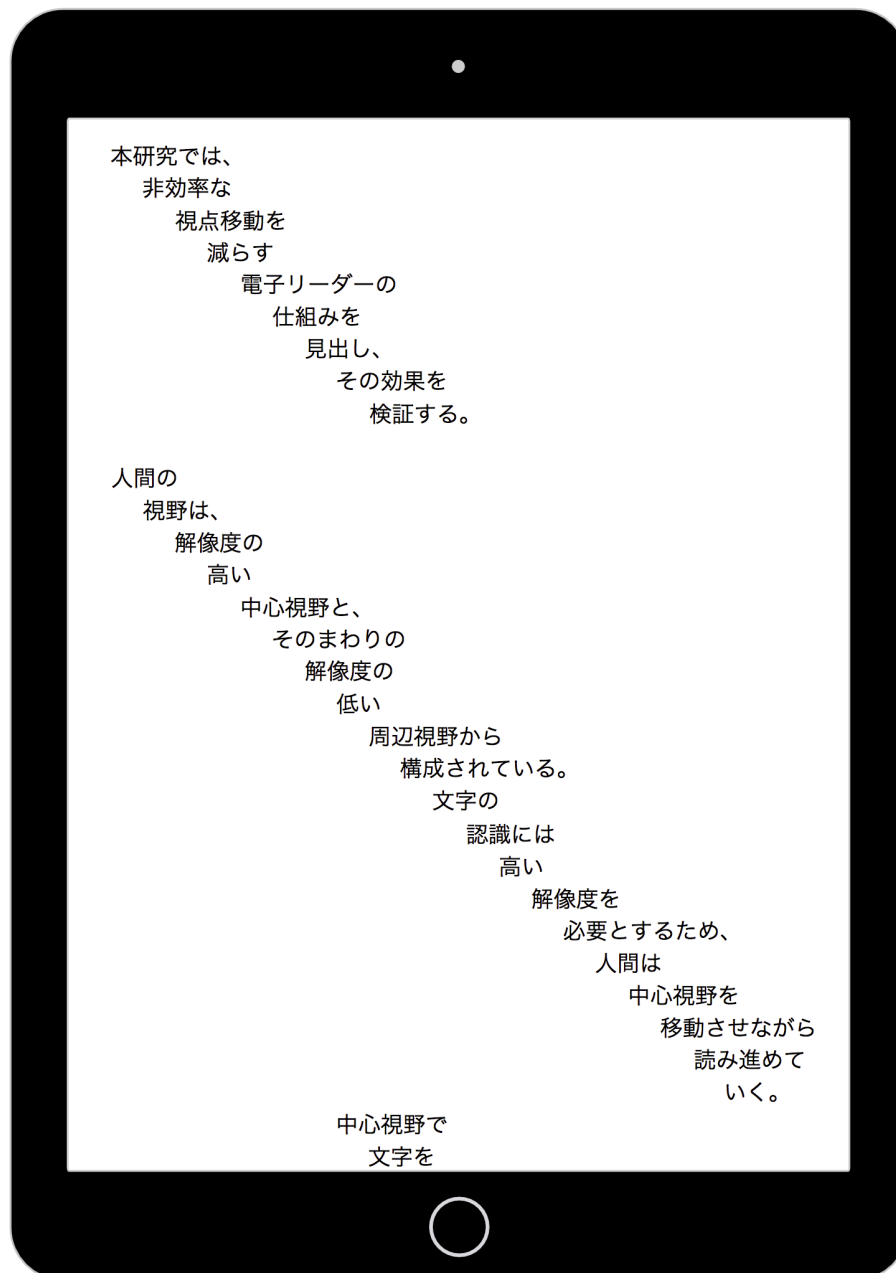


図 8.2 「階段インデント型単文節行レイアウト」の表示例。

図 8.3-(b) は、1 行を 1 文節で構成したレイアウトである。文字を間隔 0 で並べる点では固定長改行レイアウトと同一であるが、各行を 1 文節で構成した。以後「単文節行レイアウト B」と表記する。なお、文節の長さは一定でないため、1 行あたりの文字数にはばらつきが生じる。単文節行レイアウト B の 1 行あたりの平均文字数は 4.4 文字であった。

図 8.3-(c) は、本論文で提案するレイアウトである。1 行を 1 文節で構成するとともに、行頭の傾斜が 45 deg となるように各行のインデント量を増やす。図 8.3-(b) の単文節行レ

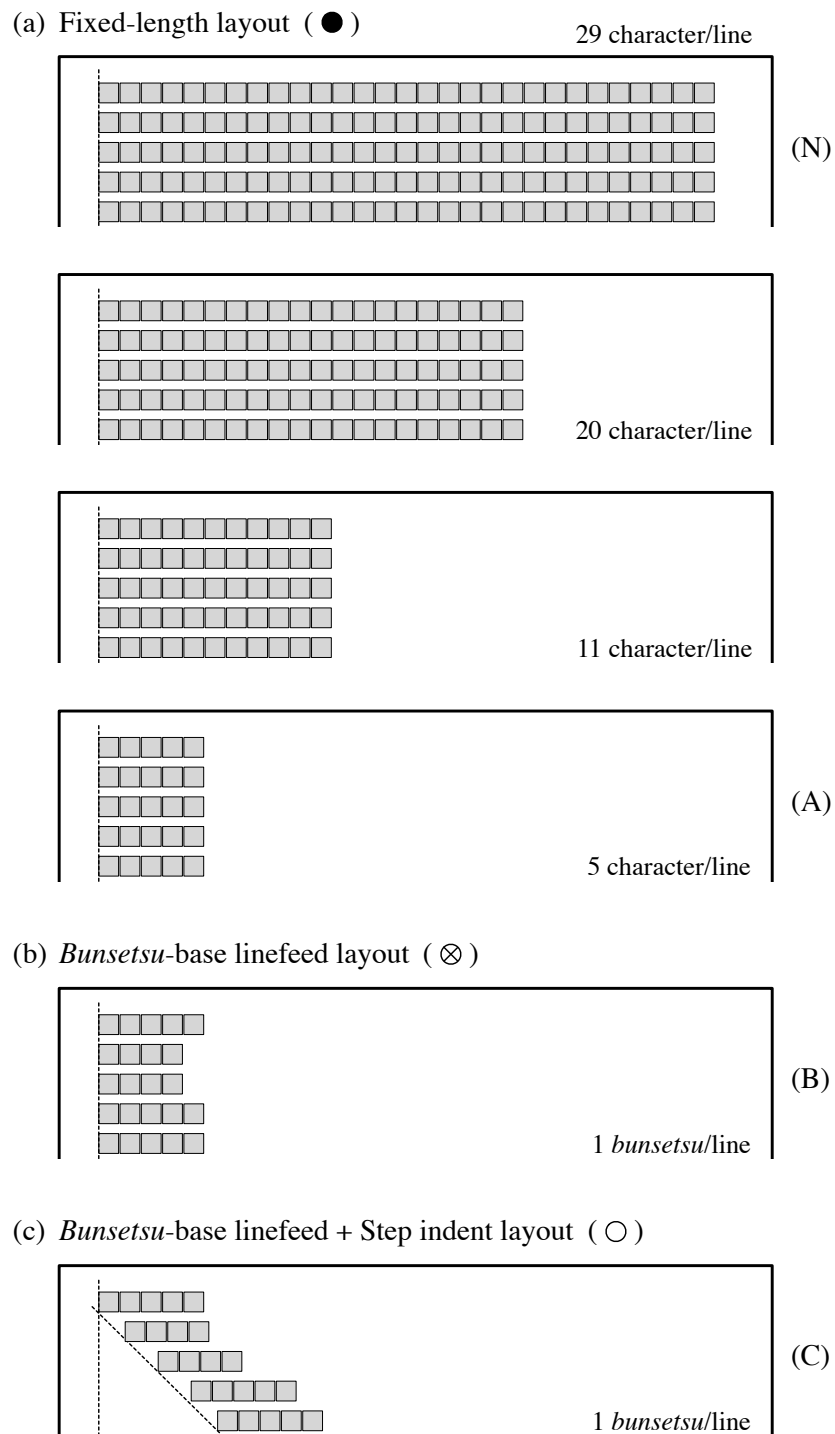


図 8.3 本章で検証した 3 種類の日本語電子リーダーの表示例. (a) 固定長レイアウト, (b) 単文節行レイアウト, (c) 階段インデント型単文節行レイアウト. 固定長レイアウトは 5, 11, 20, 29 文字/行の 4 段階の行長を準備した.



イアウトとは、階段インデントの有無のみが異なる。以後「階段インデント型単文節行レイアウト C」と表記する。なお、単文節行レイアウト B と同じく文節の長さは一定でないため、1 行あたりの文字数にはばらつきが生じる。階段インデント型単文節行レイアウト C の 1 行あたりの平均文字数は 4.4 文字であった。

刺激文章は星新一氏のショートショート作品とし、1 話の文字数が 2400 字程度の 40 話を用いた。

### 8.3.3 手続き

実験協力者 27 名について、レイアウト 3 種類および刺激文章 40 話を変更しながら、読み速度と眼球運動を計測した。

### 8.3.4 装置

実験協力者の眼球運動は、視線検出装置 EMR-9 を用いて計測した。

## 8.4 結果

階段インデント型単文節行レイアウトの効果を検証するために、本章では、読み速度、平均停留時間、停留数、および視点移動とスクロール操作について分析した。

### 8.4.1 読み速度

図 8.4 は、各レイアウトにおける読み速度を比較したものである。縦軸は読み速度、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

まず、規定の文字数で規則的に改行した固定長改行レイアウトの読み速度は、第 4 章と同様に、行長が短くなるほど低下する傾向が認められた。一行 29 文字レイアウト N の平均読み速度である  $907 \pm 50$  文字/分 (S.E.;  $N=27$ ) に対し、一行 5 文字レイアウト A の平均読み速度は  $631 \pm 28$  文字/分 (S.E.;  $N=27$ ) と  $-30\%$  低下、読み速度にして  $-276$  文字/分の低下が認められ、その差は  $t[26] = 7.29$ ,  $p < 0.01$  と両側  $5\%$  水準で有意であった。

次に、1 行を 1 文節に対応させた単文節行レイアウト B の読み速度は、1 行を規則的に 5 文字で改行した一行 5 文字レイアウト A の読み速度よりも向上する傾向が認められた。単文節行レイアウト B の平均読み速度は  $761 \pm 36$  文字/分 (S.E.;  $N=27$ ) であり、一行 5 文字レイアウト A に対して  $+20\%$  向上、読み速度にして  $+130$  文字/分の向上が認められ、その差は  $t[26] = 5.55$ ,  $p < 0.01$  と両側  $5\%$  水準で有意であった。

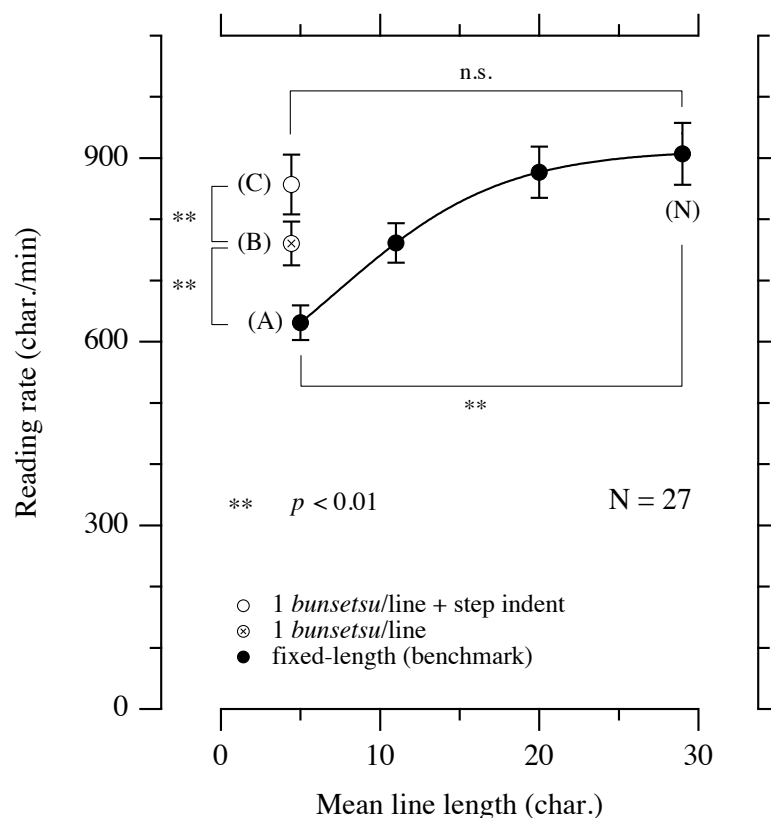


図 8.4 固定長レイアウト，単文節行レイアウト，階段インデント型単文節行レイアウトにおける，読み速度と平均行長の関係，誤差範囲は標準誤差。

さらに，行頭を階段状に字下げしながら配置した階段インデント型単文節行レイアウト C の読み速度は，単文節行レイアウト B の読み速度よりもさらに向上する傾向が認められた。階段インデント型単文節行レイアウト C の平均読み速度は  $857 \pm 49$  文字/分 (S.E.;  $N=27$ ) であり，単文節行レイアウト B に対して +13 % 向上，読み速度にして +96 文字/分の向上が認められ，その差は  $t[26] = 3.92$ ,  $p < 0.01$  と両側 5 % 水準で有意であった。また，一行 29 文字レイアウト N に対しては -6 % の低下，読み速度にして -50 文字/分の低下に抑えられており，両側 5 % 水準で有意な差があるとは言えなかった。

以上より，評価基準となる一行 29 文字レイアウト N に対して，行長を単純に短くした一行 5 文字レイアウト A では読み速度が低下していたが，単文節行レイアウト B によって読み速度は向上，さらに階段インデント型単文節行レイアウト C によって読み速度は一段と向上し，その値は一行 29 文字レイアウト N と同等である傾向が認められた。すなわち，1 行を 1 文節に対応させ，行頭を階段状に字下げしながらレイアウトすることで，1 行 4.4 文字と短い行長を維持したまま，1 行 29 文字の長い行長と同等の速度で読めることがわかった。

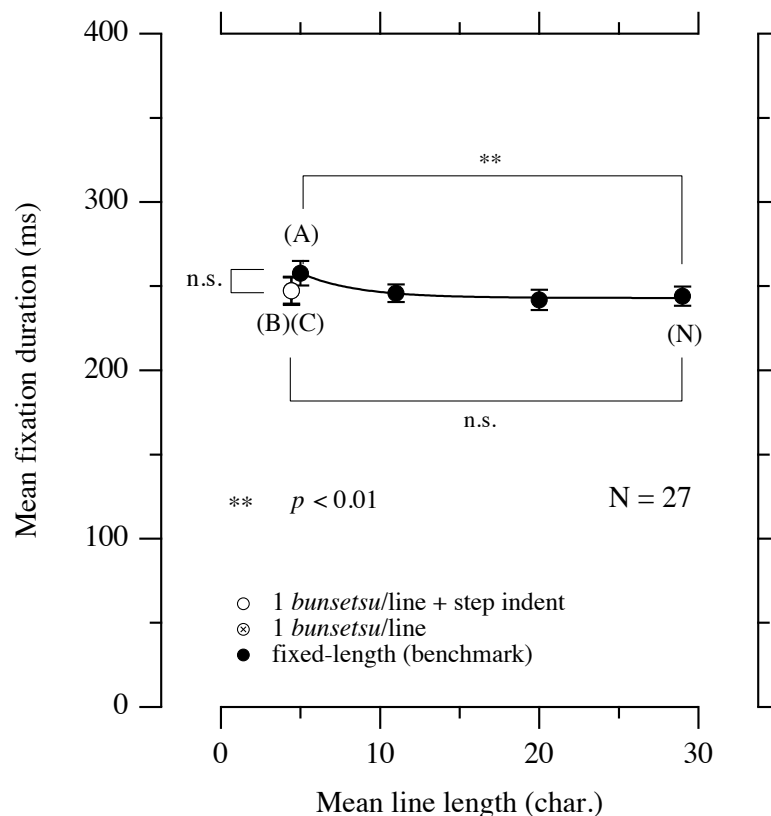


図 8.5 固定長レイアウト、単文節行レイアウト、階段インデント型単文節行レイアウトにおける、平均停留時間と平均行長の関係。誤差範囲は標準誤差。単文節行レイアウト B と階段インデント型単文節行レイアウト C はほぼ同値でプロットが重なっている。

#### 8.4.2 平均停留時間

図 8.5 は、各レイアウトにおける平均停留時間の変化を示したものである。縦軸は平均停留時間、横軸は平均行長、誤差範囲は全て標準誤差である。

まず、規定の文字数で規則的に改行したレイアウトの平均停留時間は、行長が短くなるほど増加する傾向が認められ、一行 29 文字レイアウト N と一行 5 文字レイアウト A の値の差は  $t[26] = 3.28$ ,  $p < 0.01$  と両側 5 % 水準で有意であった。

次に、1 行を 1 文節に対応させた単文節行レイアウト B、および行頭を階段状に字下げしながら配置した階段インデント型単文節行レイアウト C の平均停留時間は同じ値を示した。また、単文節行レイアウト B および階段インデント型単文節行レイアウト C の平均停留時間は、1 行を規則的に 5 文字で改行した一行 5 文字レイアウト A の平均停留時間よりも減少する傾向が認められたが、両側 5 % 水準で有意な差があるとは言えなかった。

また、一行 29 文字レイアウト N の平均停留時間と、単文節行レイアウト B および階

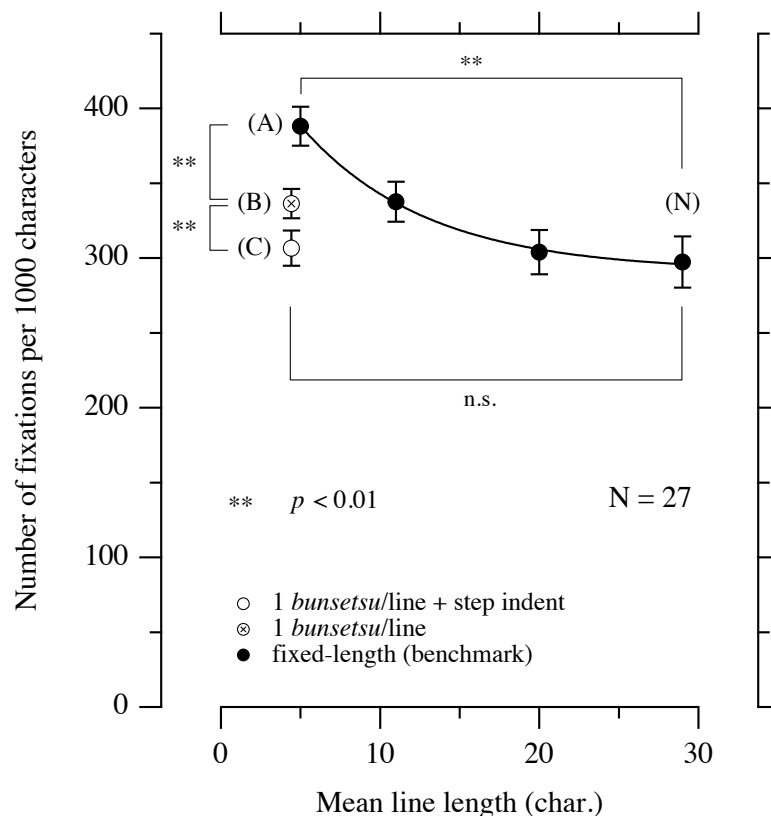


図 8.6 固定長レイアウト、単文節行レイアウト、階段インデント型単文節行レイアウトにおける、刺激文章 1000 文字あたりの停留数と平均行長の関係。誤差範囲は標準誤差。

段インデント型単文節行レイアウト C の平均停留時間の間にも、両側 5 %水準で有意な差があるとは言えなかった。

### 8.4.3 停留数

図 8.6 は、各レイアウトにおける 1 刺激文章あたりの停留数の変化を示したものである。1 刺激文章あたりの停留数の比較には、1000 文字で正規化した値を用いた。縦軸は刺激文章 1000 文字あたりの停留数、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

まず、規定の文字数で規則的に改行したレイアウトにおける停留数は、行長が短くなるほど増加する傾向が認められ、一行 29 文字レイアウト N と一行 5 文字レイアウト A の値の差は  $t[26] = 7.05$ ,  $p < 0.01$  と両側 5 %水準で有意であった。

次に、1 行を 1 文節に対応させた単文節行レイアウト B における停留数は、1 行を規則的に 5 文字で改行した一行 5 文字レイアウト A における停留数よりも減少する傾向が認められ、単文節行レイアウト B と一行 5 文字レイアウト A の値の差は  $t[26] = 6.48$ ,  $p < 0.01$

と両側5%水準で有意であった。

さらに、行頭を階段状に字下げしながら配置した階段インデント型単文節行レイアウト C における停留数は、1 行を 1 文節に対応させた単文節行レイアウト B における停留数よりも減少する傾向が認められ、階段インデント型単文節行レイアウト C と単文節行レイアウト B の値の差は  $t[26] = 3.10$ ,  $p < 0.01$  と両側 5 %水準で有意であった。一方、一行 29 文字レイアウト N と階段インデント型単文節行レイアウト C における停留数の間には、両側 5 %水準で有意な差があるとは言えなかった。

以上より、評価基準となる一行 29 文字レイアウト N に対して、行長を単純に短くした一行 5 文字レイアウト A では停留数が増加していたが、単文節行レイアウト B によって停留数は減少、さらに階段インデント型単文節行レイアウト C によって停留数は一段と減少し、その値は一行 29 文字レイアウト N と同等である傾向が認められた。すなわち、1 行を 1 文節に対応させ、行頭を階段状に字下げしながらレイアウトすることで、1 行 4.4 文字と短い行長を維持したまま、1 行 29 文字の長い行長と同等の停留数で読めることがわかった。

#### 8.4.4 視点移動とスクロール操作

図 8.7, 図 8.8, 図 8.9, 図 8.10 に各レイアウトにおける視点移動とスクロール操作の変化を示す。

図 8.7 は、実験協力者 1 名の各レイアウトにおける視点移動の変化を示したものである。縦軸は垂直方向の視角、横軸は水平方向の視角、原点は実験協力者の視野中心である。抽出した停留点と停留時間もあわせて図示した。

図 8.8 は、各レイアウトにおける実験協力者 27 名のサッカード長の  $x$  成分（水平方向成分）の平均分布を示したものである。縦軸は相対頻度、横軸はサッカード長  $x$  成分、誤差範囲は標準誤差である。

図 8.9 は、階段インデント型単文節行レイアウト C における実験協力者 27 名の視点移動方向の平均分布を示したものである。放射軸は相対頻度、円周軸は視点移動方向、誤差範囲は標準誤差である。

図 8.10 は、実験協力者 1 名の各レイアウトにおけるスクロール操作の変化を示したものである。縦軸はスクロール量、横軸は時間である。スクロール量は 2048 に到達した時点で上方向に 1 画面分スクロールしたことを意味する。

まず、長い行長をもつ一行 29 文字レイアウト N では、各行の文字列に沿って視点を移動させて読み進めており、図 8.7-(N) のように水平方向の視点移動が多く発生している

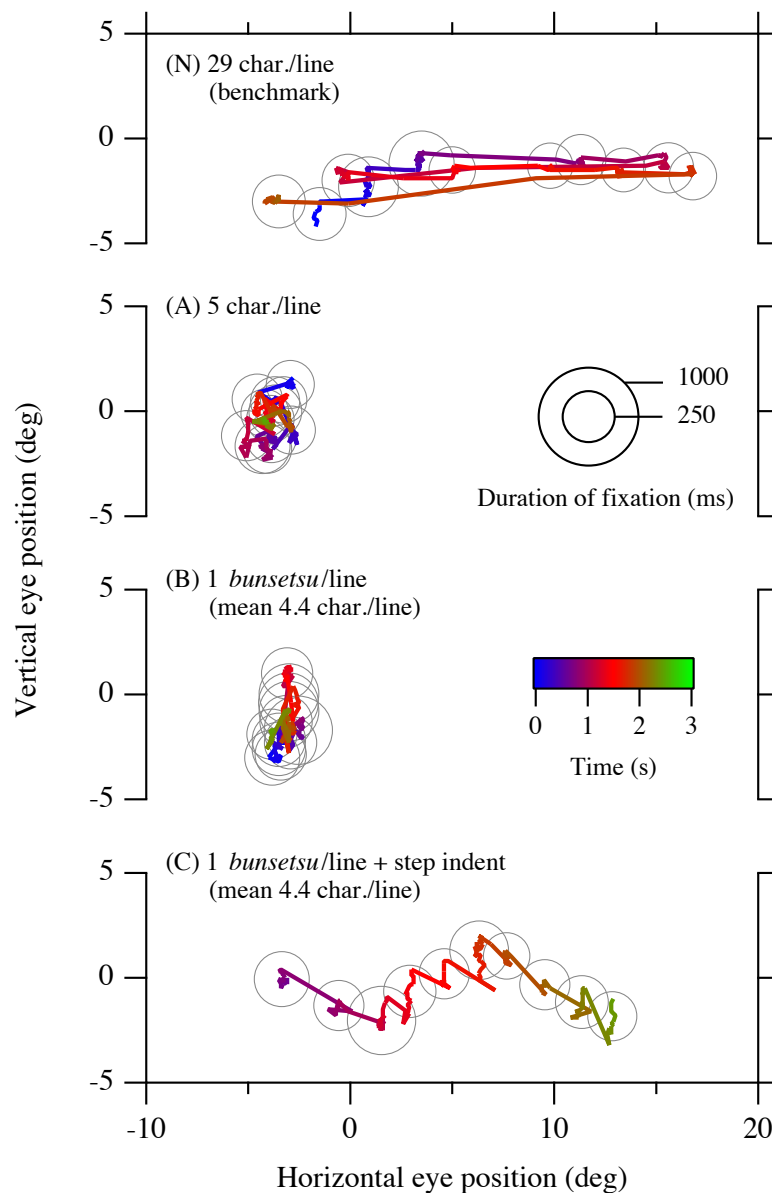


図 8.7 固定長レイアウト，単文節行レイアウト，階段インデント型単文節行レイアウトにおける，実験協力者 1 名の視点移動の変化.

ことがわかった。また図 8.8-(N) より，水平方向の視点移動距離は文字幅にして 3 ～ 5 文字分をピークとしつつ，幅広い分布をもつ傾向が認められた。スクロール操作については，図 8.10-(N) より，スクロールの移動と停止を繰り返しながら読み進める傾向が認められた。

次に，短い行長をもつ一行 5 文字レイアウト A と単文節行レイアウト B では，図 8.7-(A)(B) のように大きな視点移動は消失し，短い視点移動を中心とする読み方に変化する傾向が認められた。また，図 8.10-(A)(B) に示すように，常にスクロールしながら読み進

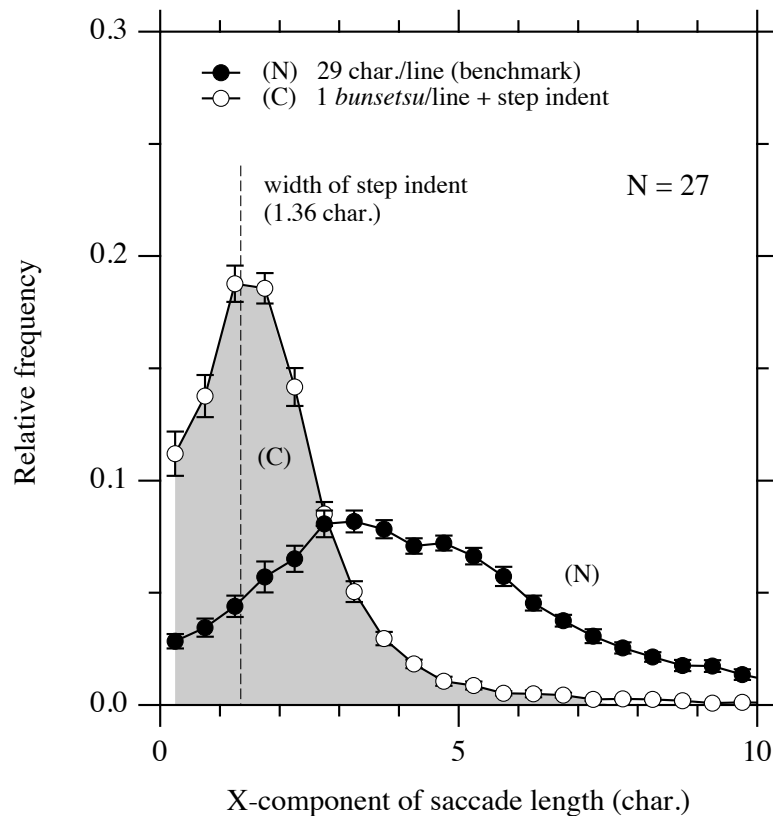


図 8.8 一行 29 文字レイアウト N および階段状インデント型の単文節行レイアウト C における、サカド長の  $x$  成分（水平方向成分）の分布。誤差範囲は標準誤差。

める傾向が認められた。

一方、階段インデント型単文節行レイアウト C では行頭を階段状に字下げしながら配置しているために、視点移動の水平方向成分は図 8.8-(C) に示すように、字下げ幅である 1.36 文字付近をピークとした分布をもつ傾向が認められた。また、図 8.10-(C) に示すように、常にスクロールしながら読み進める傾向が認められた。その結果、階段インデント型単文節行レイアウト C では、目の動きと読者自身のスクロール操作による文字の動きを協調させながら読み進める傾向を見せており、視点の移動は行頭の傾斜角である  $45\text{ deg}$  ( $-315\text{ deg}$ ) 方向ではなく、図 8.7-(C) および図 8.9 に示すように画面右に向かって、あたかも長い一行を読むように、概ね水平に移動していく傾向が認められた。

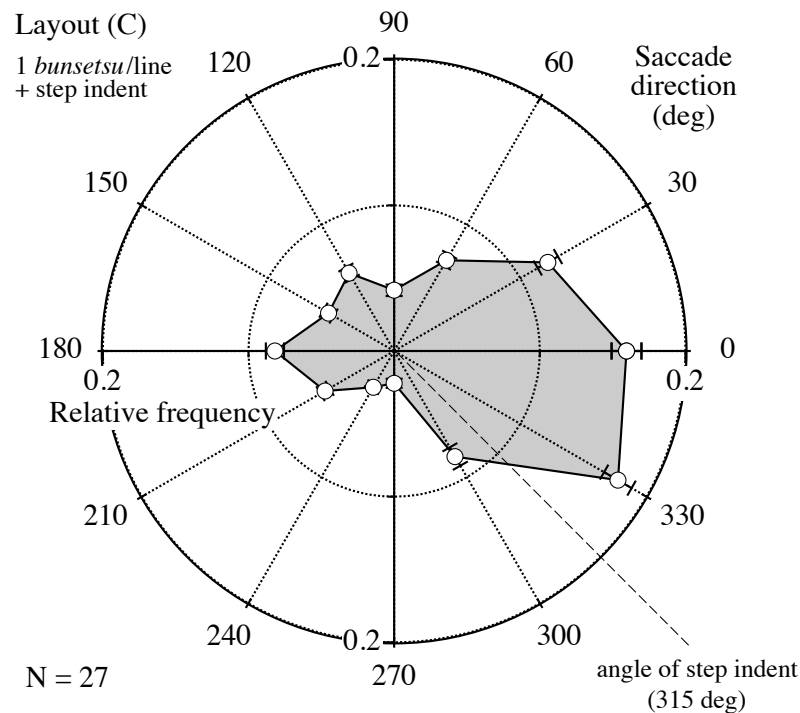


図 8.9 階段インデント型単文節行レイアウト C における視点移動方向の分布。横書きの文章で文字を並べていく方向を 0 deg とする。誤差範囲は標準誤差。

## 8.5 考察

### 8.5.1 読み速度の変化と要因

まず、本章の評価基準である一行 29 文字レイアウト N に対して、行長を単純に短くすると読み効率の低下をまねくことがわかった。1 行あたりの文字数を 5 文字まで減少させた一行 5 文字レイアウト A では、評価基準となる一行 29 文字レイアウト N と比較すると、図 8.4 に示すように読み速度は 30 % 低下しており、その原因は図 8.5 と図 8.6 に示すように停留時間と停留数の増加にあることがわかった。この傾向は、第 4 章の結果と一致する。

次に、1 行を 1 文節で構成する単文節行レイアウト B の手法によって、単純に行長を短くする一行 5 文字レイアウト A の手法よりも、図 8.4 に示すように読み速度は向上し、その原因は図 8.6 に示すように停留数の減少にあることがわかった。この傾向も第 5 章と一致する。しかし、単文節行レイアウト B の読み速度は、評価基準となる一行 29 文字レイアウト N の水準には至らなかった。

一方、1 行を 1 文節で構成し、さらに行頭を階段状に字下げしながら配置する階段イ



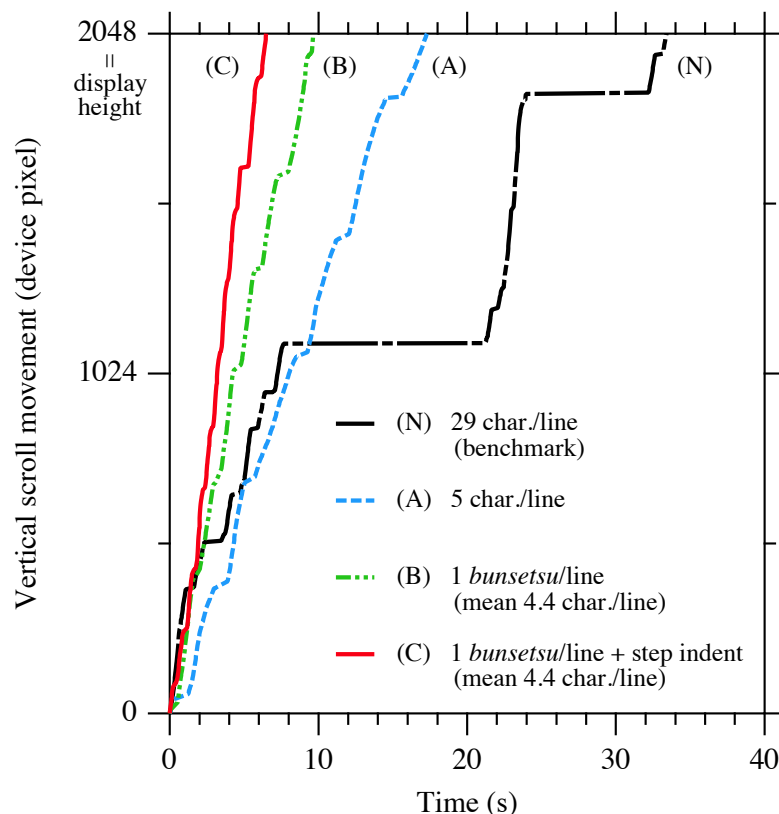


図 8.10 固定長レイアウト，単文節行レイアウト，階段インデント型単文節行レイアウトにおける，実験協力者 1 名のスクロール操作の変化。

ンデント型単文節行レイアウト C の手法によって，図 8.4 に示すように単文節行レイアウト B の手法よりも一段と読み速度が向上し，評価基準となる一行 29 文字レイアウト N と同等の速度に至ることがわかった。単文節行レイアウト B よりも読み速度が向上した原因は，図 8.6 に示すように，停留数の減少にあることがわかった。

以上より，固定長で改行する既存レイアウトでは，1 行の文字数が 29 文字から 5 文字に減少すると停留時間および停留数の増加によって読み速度は 30 % 低下していたが，1 行 1 文節かつ階段状インデントの工夫によって，1 行あたり 4.4 文字と短い行長を維持したまま，1 行あたり 29 文字の行長と同等の停留時間および停留数を実現し，同等の読み速度で読めるようになったことがわかった。

### 8.5.2 読みの特徴と課題

図 8.10-(N)(C) に示すように，基準となる一行 29 文字レイアウト N ではスクロールの移動と停止を繰り返す一方で，階段インデント型単文節行レイアウト C ではスクロール

をほとんど止めておらず、スクロール操作における両レイアウトの差は極めて大きい。また、図 8.7-(C) および図 8.9 に示すように、あたかも長い一行を読むように右方向へ次々サッカードしていること、さらに図 8.8 に示すように、サッカードの水平方向の長さは階段状のインデント幅とよく一致していることがわかった。すなわち、階段インデント型単文節行レイアウト C においては、階段状にレイアウトされた文字を静止させた状態で読み進めるのではなく、スクロール操作とインデント幅分の視点移動を協調させながら読んでいる状態にあると言える。さらに、階段インデントしながら画面右端に到達するまでの行数を 20 行とすると、1 行あたりの文字数が平均 4.4 文字であることから、1 行 88 文字という長い一行を改行なく読み進めている状態とも言える。この読みは、あくまで読者の自発的な視点移動とスクロール操作によってなされている点が興味深い。

また、実験協力者の読後の評価によると、27 名中 11 名の実験協力者が階段インデント型単文節行レイアウト C を「読みやすい」と回答しており、「違和感を感じずに読める」「問題なく読める」と回答した実験協力者 12 名を含めると、その割合は 85 % (27 名中 23 名) となる。また、「読みにくい」と評価した実験協力者 4 名のうち、2 名は階段インデント型単文節行レイアウト C で読み速度が向上していた。「読めない」と回答した実験協力者はいなかった。したがって、階段インデント型単文節行レイアウト C は、通常の日本語レイアウトで評価基準となる一行 29 文字レイアウト N とは大きく異なるレイアウトをもつ上に、視点移動とスクロール操作の協調的な連携という新しい読み方を必要とするが、実験協力者は概ね問題なく読み進められたことがわかった。

一方で、階段インデント型単文節行レイアウト C は、短行を維持したまま最も速く読めるレイアウトであるが、行長に階段状の字下げが必要なために、1 行あたり 29 文字を表示可能な画面幅が必要という課題が残る。ある程度広い画面上で 1 行を短くして読む場合には、階段インデント型単文節行レイアウト C が有効であるが、1 行あたり 5 文字程度の画面幅において読み速度を向上させるには、さらなる工夫が必要とされることがわかった。

### 8.5.3 応用の可能性

階段インデント型単文節行レイアウト C は、短行であることが重要な読者の読み支援につながる可能性がある。近年、1 行あたりの文字数を少なく表示した電子リーダーにおいて、失読症読者の読み速度が向上した例が報告され (Sch13a)、単語周辺の文字密度を低下させることで単語認識が容易になり、読みやすさの向上につながる可能性が指摘されている (Mar09, Zor12, Sch13b, Sch13a)。階段インデント型単文節行レイアウトは、1 行あたり

の文字数は少なく、各行周辺の文字密度は極めて小さいという、先行研究で読みやすさの向上につながった特徴を有する。そして、あたかも長い一行を短いサッカードで次々読んでいるような特徴的な目の動きによって、既存のレイアウトでは読み速度の低下が避けられなかった短い行長においても、長い行長と同等の読み速度を実現できることがわかった。さらなる検証を必要とするが、階段インデント型単文節行レイアウトCでは、短い行長の方が読みやすい方々の読み効率を一段と向上できる可能性が示唆された。

## 8.6 小括

本章では、第5～7章の手法では改善できなかった極めて短い5文字/行における読み効率向上を図るべく、指先のスクロール操作で発生する文字移動を眼球運動の一部と捉え、各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式「階段インデント型単文節行レイアウト」を提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した。

階段インデント型単文節行レイアウトでは、理解度を維持したまま、1行あたり29文字で改行した従来の日本語レイアウトと同等の速度で読めることがわかった。さらに、1行あたり5文字で改行した従来の日本語レイアウトと比較すると、階段インデント型単文節行レイアウトでは36%速く読めることがわかった。

階段インデント型単文節行レイアウトでは、スクロール移動する文字の動きと、文字を読む目の動きが協調的に連携しており、あたかも長い一行を短いサッカードで次々読んでいくような目の動きで読み進めていることがわかった。階段インデント型単文節行レイアウトは、視点移動とスクロール操作を協調的に連携させるという新しい読み方を必要とするが、85%の実験協力者が読み心地の低下を感じておらず、約5文字/行の短い行長で読み効率の向上をうながす有効な表示方式であることがわかった。

## 第9章

# 読みの視知覚メカニズムにもとづく 日本語電子リーダーの設計

本章では、第4章から第8章までの各提案手法とその結果を総合的に分析し、文章を読み進める際に発生する非効率な視点移動の改善という観点から統一的に論じるなかで、電子リーダーへの効果的な適用を図るための設計について検討する。

### 9.1 緒言

第4章から第8章までに、文節にもとづく改行位置の調整、文節単位の視認性を高めるための階段状ベースラインや微振動の付与、さらにスクロール操作と目の動きを協調させて読む仕組みによって、日本語文章を読み進める際の非効率な視点移動を改善できることが見出された。本論文で検証した仕組みは下記の通りである。

#### (1) 固定長改行

図9.1は、一般的な日本語組版の「固定長改行レイアウト」であり、眼球運動の行長依存性について第4章で詳しく検証した。1行あたり所定の文字数毎に改行し、改行時の禁則処理は句読点と括弧のみを対象とした。文節を考慮した仕組みは含まない。

文章の読み速度を高める電子リーダーの設計にあたっては、人間の視覚特性に起因する読書中の眼球運動の特徴を考慮することが重要である。人間の視野は、解像度の高い中心視野と、そのまわりの解像度の低い周辺視野から構成されている。文字の認識には高い解像度を必要とするため、人間は中心視野を移動させながら文章を読み進めていく。中心視野にて文字を認識している注視状態は停留、次の停留点への移動運動はサッカードと呼ばれ、読書中の眼球運動は停留とサッカードの繰り返しであることが知られている。

図 9.1 固定長改行レイアウト【第4章】

## (2) 文節間改行

図 9.2 は、文節を改行で分断しないように改行位置を調節する「文節間改行レイアウト」であり、第 5 章において効果を検証した。1 文節の長さが 1 行の基準文字数を超えていた場合は、当該文節を分断することなく、そのまま 1 行として採用した。

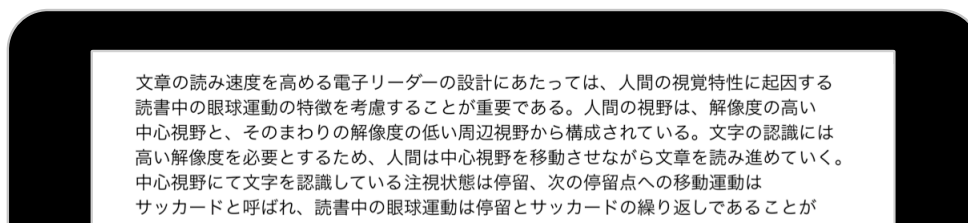


図 9.2 文節間改行レイアウト【第 5 章】

## (3) 文節間改行+文節単位の階段状ベースライン

図 9.3 は、隣り合う文節を上下にずらすことで視覚的な境界情報を付与し、文節単位の視認性を高める効果を狙った「階段状ベースラインレイアウト」であり、第 6 章において効果を検証した。既存の日本語レイアウトでは一直線となるように設定する文字ベースラインを、本レイアウトでは文節単位で段階状に下げていく。段階一段の下げ幅は文字高の 7.5 %分とした。

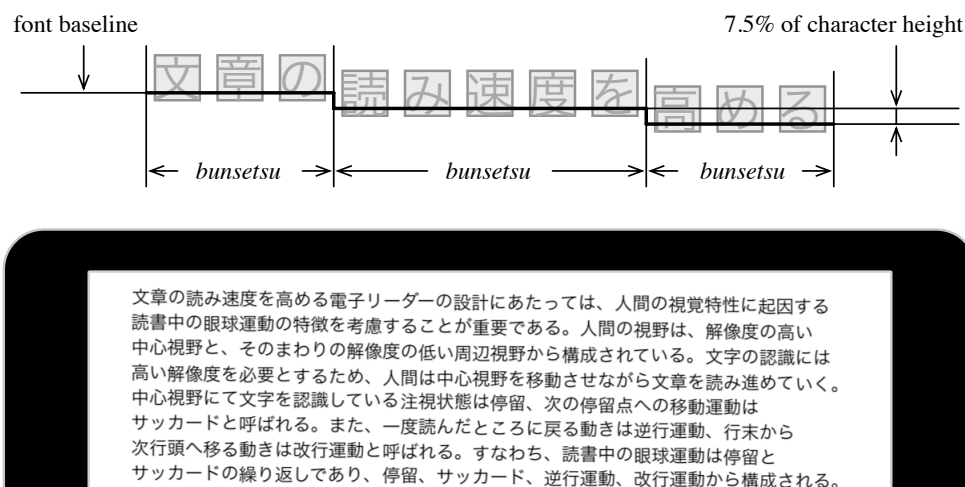


図 9.3 文節単位の階段状ベースラインレイアウト【第 6 章】

#### (4) 文節間改行+文節単位の微振動テキスト

図9.4は、隣り合う文節を異なるタイミングで微振動させた「文節単位の微振動テキスト」であり、第7章において効果を検証した。振動によって発生する文節間の疎密が動的な境界情報を形成し、文節単位の視点移動を促す効果を狙った。文章の先頭から順に、文節を4グループに分けて、250 ms ずつタイミングをずらして振動させる。振幅は文字幅の3 %分であり、素早く右に動かして、ゆっくり左に戻す。振動周期は1000 ms であり、1000 ms の間に2回振動させる。また、画面全体が一様に揺れて見えるのを抑制するために、1回目と2回目の振動パターンをわずかに変化させる。1回目は30 ms で右に動かし、370 ms かけて元の位置に戻し、100 ms 静止させる。2回目は40 ms で右に動かし、360 ms かけて元の位置に戻し、100 ms 静止させる。振動は実験終了まで継続し、スクロール操作中を含めて、途中で停止することはない。

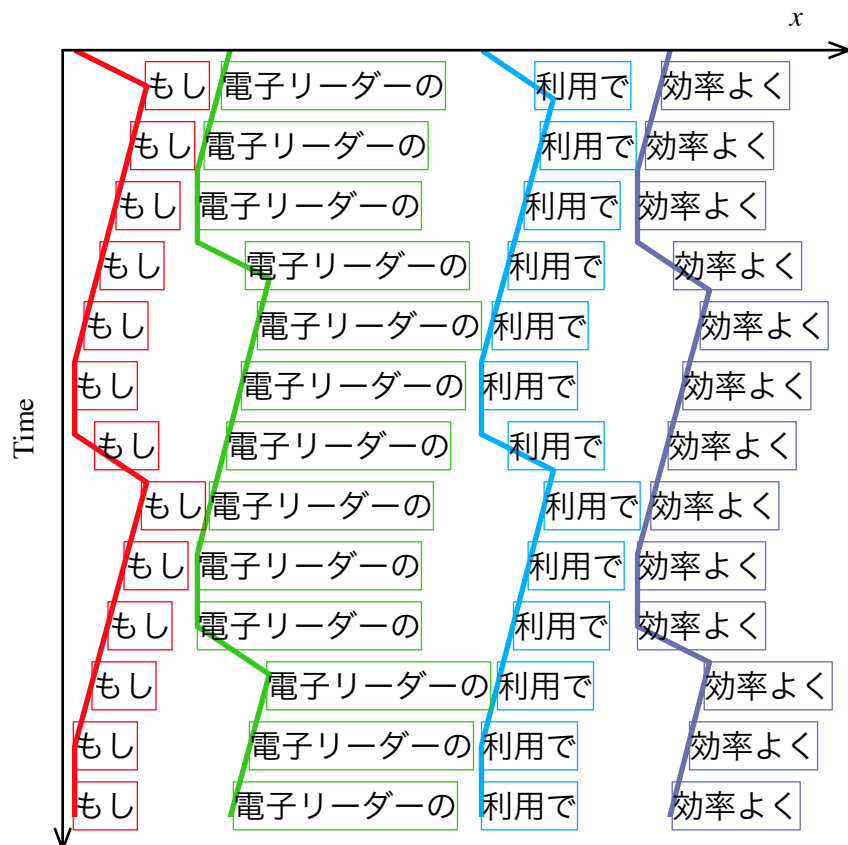


図 9.4 文節単位の微振動テキスト【第7章】

### (5) 単文節行+階段インデント

図9.5は、1行を1文節で構成することで文節単位の読みを促すとともに、階段状のインデントによってスクロール移動する文字の認識や視点移動を容易にする効果を狙った「階段インデント型単文節行レイアウト」であり、第8章において効果を検証した。1行が1文節となる位置で改行するとともに、行頭が傾斜をもつように各行のインデント量を増やしていき、次の段落の最初の文節で画面左端に戻すように設計した。行頭の傾斜角は45 degである。また、段落途中の文において、もし文節を配置した場合に、文節の右端が画面右端から左に1文字分の位置にある基準線を越える場合には、画面左端ではなく当該行のインデント量を8行目と同じ値まで戻し、再び当該行を始点に行頭傾斜が45 degとなるように各行のインデント量を増やすこととした。

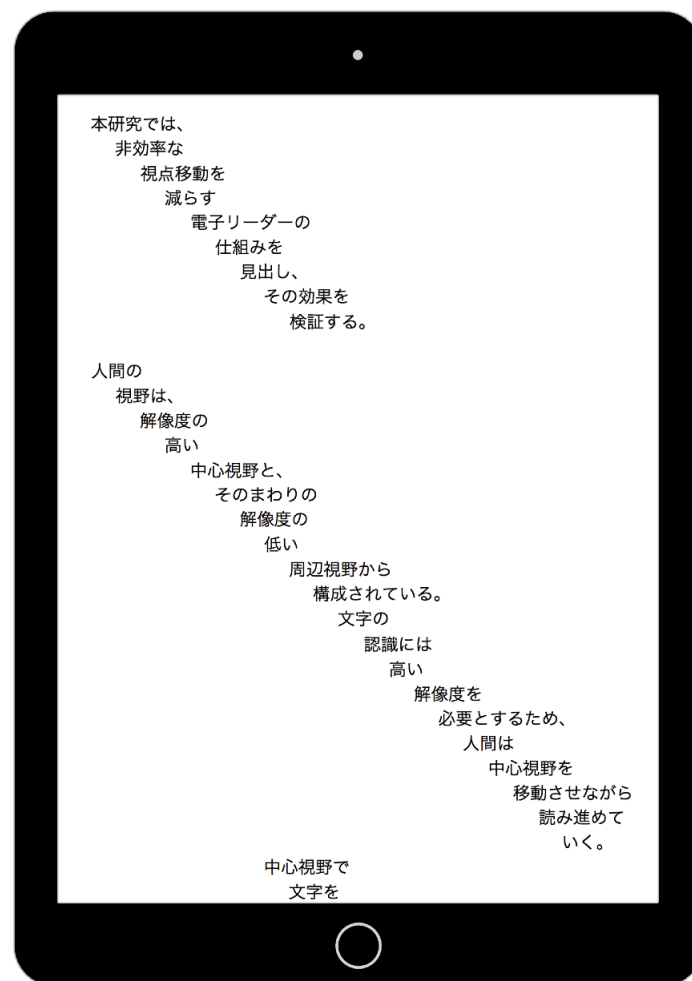


図 9.5 階段インデント型単文節行レイアウト【第8章】



## 9.2 総合考察

本節では、第4章から第8章までの各提案手法とその結果を統一的に分析し、電子リーダーへの効果的な適用を図るための設計について検討するべく、各手法の停留数および読み速度の変化量を、刺激文章の原本紙面をスキャンしてiPad上に表示した1行38文字の縦書きページ型レイアウト「(0) 縦書きページ型固定長改行」における値を基準として算出した<sup>1</sup>。

図9.6は、本論文で見出した各手法における1刺激文章あたりの平均停留数の変化を示したものである<sup>2</sup>。1刺激文章あたりの停留数の比較には、1000文字で正規化した値を用いた。縦軸は刺激文章1000文字あたりの平均停留数の増分、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

図9.7は、各手法における読み速度の変化を示したものである<sup>2</sup>。縦軸は読み速度の増分、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

以下、図9.6および図9.7にもとづいて考察を進める。

**読み速度の向上は停留数の削減で実現** 図9.6および図9.7より、各手法の停留数の減分は、読み速度の増分と対応していることがわかる。平均停留時間については、各手法の平均停留時間を示した図5.3、図6.3、図7.5、図8.5より、各手法間で有意な差が認められないか、おおむね同一水準にあることがわかった。一方で、停留数については、図9.6および前章までの図5.4、図6.4、図7.6、図8.6より、本研究で見出した手法において、有意な停留数の減少が認められた。すなわち、本研究で見出された表示手法による読み速度の向上は、停留時間の短縮ではなく、停留数の削減によって実現していることがわかった。

**短行ほど読み効率は低下** 図9.6および図9.7全体として、1行の長さが短くなると、停留数は増加し、読み速度は低下する結果となった。

<sup>1</sup>停留数においては、一部の実験協力者で「(0) 縦書きページ型固定長改行」の眼球運動を測定しなかったため、「(0) 縦書きページ型固定長改行」の平均停留時間を全実験協力者一律に240 msと仮定し、読み時間を平均停留時間240 msで除算した値とした。なお、240 msの値は、「(0) 縦書きページ型固定長改行」の1行38文字に対して、1行40文字と行の長さが近い「(1) 固定長改行」における平均停留時間を採用したものである。

<sup>2</sup>本論文では、手法(3)(4)(5)の効果検証時の基準を「(2) 文節間改行」としていたため、「(0) 縦書きページ型固定長改行」を測定していない。そこで図9.6および図9.7における手法(3)(4)(5)のプロットにあたっては、手法(0)(1)(2)の効果検証時に得た「(2) 文節間改行」の値を基準とした。



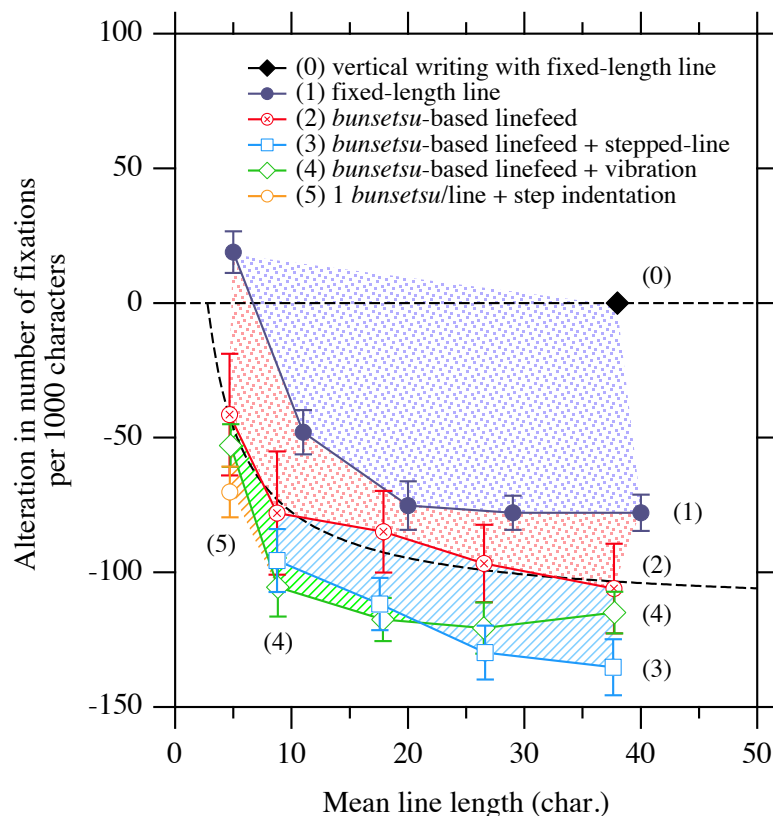


図 9.6 各手法における平均停留数の変化と平均行長の関係。(0) 縦書きページ型固定長改行, (1) 固定長改行, (2) 文節間改行, (3) 文節間改行+文節単位の階段状ベースライン, (4) 文節間改行+文節単位の微振動テキスト, (5) 単文節行+階段インデント。誤差範囲は標準誤差。

**横書きの方が速く読める** 原本である縦書きの読み速度と、本研究で最も基本的なレイアウトである横書き縦スクロール型レイアウト「(1) 固定長改行」の読み速度を比較すると、1 行 20 ～ 40 文字の範囲ならば、横書きの方が 1 分あたり約 150 文字も速く読めることがわかった。従来研究の 2.4.7 項で述べたように、縦書きと横書きの読み効率は慣れの影響が大きいとされる (田中 16, 永野 60)。本研究の実験協力者である 19 ～ 23 歳の情報学系大学の学生においては、ページ型の縦書き文章よりも、読者自身が縦スクロールする横書き文章の方が速く読める結果となった。

**文節間で改行すると速く読める** 改行位置が文節間になるように調整したレイアウト「(2) 文節間改行」を採用すると、全行長にわたって「(1) 固定長改行」よりも速く読めることがわかった。文節間で改行すると、次行へ視点移動が 1 回のサックードで完了する確率が増していることから、改行によって文節を分断しないように配慮したレイアウトが、次行への視点移動の効率化につながるということがわかった。

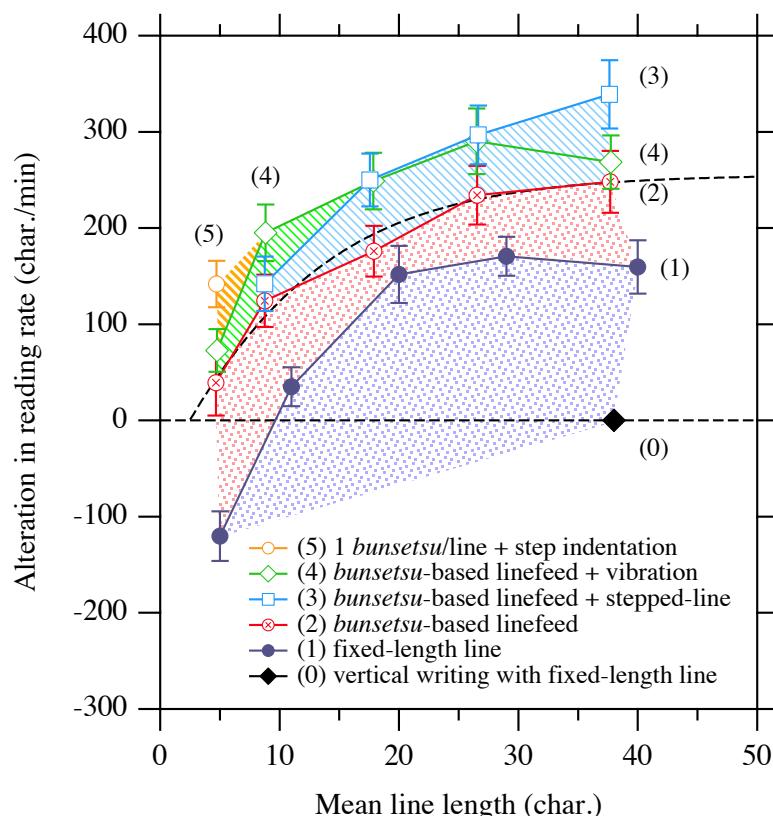


図 9.7 各手法における読み速度の変化と平均行長の関係。(0) 縦書きページ型固定長改行, (1) 固定長改行, (2) 文節間改行, (3) 文節間改行+文節単位の階段状ベースライン, (4) 文節間改行+文節単位の微振動テキスト, (5) 単文節行+階段インデント。誤差範囲は標準誤差。

**比較的長行に効果的な文節単位の階段状ベースライン** 「(3) 文節間改行+階段状ベースライン」は本論文で見出された最速の手法となった。原本である「(0) 縦書きページ型固定長改行」の平均読み速度 728 文字/分を考慮すると、文節間改行と階段状ベースラインを組み合わせた手法は、最高で 1068 文字/分の平均読み速度を実現しており、読み速度を約 1.5 倍に引き上げる効果をもつと言える。このとき、実験協力者全員が理解度を維持し、91 %の実験協力者が読み心地の低下を感じることなく読めていたこともわかった。「(3) 文節間改行+階段状ベースライン」は文節単位の視点移動を促す効果を有しており、隣り合う文節が上下にずれて配置されるレイアウト上の視覚的特徴が、次の停留先を選定する視覚処理系に正の影響を与えている可能性が推察された。一方で、比較的短い行長では十分な効果が得られないこともわかった。

**比較的短行に効果的な文節単位の微振動テキスト** 1 行の文字数が 10 文字程度の短い行長では「(4) 文節間改行+微振動テキスト」が最も速く読める手法となった。このとき、

実験協力者全員が理解度を維持し、76 %の実験協力者が読み心地の低下を感じることなく読めていたこともわかった。短い行長では平均順行サッカード長が文節長よりも短くなる、すなわち1文節内で何度も停留する傾向が強くなるため、長い行長の場合よりも強く文節単位を視知覚させる仕組みが必要であった。動的な文節間の境界情報によって文節単位を認知させる「(4) 文節間改行+微振動テキスト」は、1行あたり10文字程度の短い行長においても文節単位の視点移動を促す効果を有しており、微振動する文節のまとまり自体や動的な疎密変化による境界情報が、視点移動の新たな手がかりとして機能した可能性が推察された。

**単文節行に効果的な眼球運動とスクロール操作の協調設計** 最も短い行長で最も速く読める手法が「(5) 単文節行+階段インデント」である。1行あたり約5文字という短い行長では、「(1) 固定長改行」のみならず「(2) 文節間改行」や「(4) 文節間改行+微振動テキスト」においても読み速度の向上は限定的であり、長い行長の読み速度には及ばなかった。しかし、1行を1文節で構成する単文節行レイアウトに加えて、行頭の階段状インデントという視覚的な特徴を追加することで、目の動きと指先によるスクロール操作の協調的な連携を容易にする効果を狙った「(5) 単文節行+階段インデント」では、1行あたり約5文字という短い行長にもかかわらず、1行あたり20～40文字という長い行長の「(1) 固定長改行」と同等の読み速度に至った。「(5) 単文節行+階段インデント」では、スクロール移動する文字の動きと、文字を読む目の動きが協調的に連携しており、あたかも長い一行を短いサッカードで次々読んでいくような目の動きによって、約5文字/行と短い行長を維持したままでも、1行あたり29文字の「(1) 固定長改行」と同等の速度で読めることがわかった。このとき、85 %の実験協力者が読み心地の低下を感じることなく読めていたこともわかった。

**各手法の効果的な適用範囲** 本論文で見出した手法には、それぞれ効果的な適用範囲があり、1行が5文字程度の短行で電子リーダー上に表示する場合には「(5) 単文節行+階段インデント」、1行が10文字程度の行長で表示する場合には「(4) 文節間改行+微振動テキスト」、1行が20文字以上で表示できる場合は「(3) 文節間改行+階段状ベースライン」を適用することで、読み心地や理解度を維持したまま読み効率を向上できることがわかった。文節にもとづく改行位置の調整、文節単位の視認性を高めるための階段状ベースラインや微振動の付与、さらにスクロール操作と目の動きを協調的に連携させて読む新しい表示手法によって、従来の日本語レイアウトであれば読み効率の低下が避

けられなかった1行あたり20文字に満たない短い行長を含む、5～40文字/行の幅広い行長範囲で日本語文章を読み進める際の非効率な視点移動が改善され、読み速度向上に至ったことがわかった。

### ■ 9.3 小括

本章では、第4章から第8章の成果を集約し、文節にもとづく改行位置の調整、文節単位の視認性を高めるための階段状ベースラインや微振動の付与、さらにスクロール操作と目の動きを協調的に連携させて読む仕組みを日本語電子リーダーに組み込むことで、日本語文章を読み進める際の非効率な視点移動が改善され、従来の日本語レイアウトであれば読み効率の低下が避けられなかった1行あたり20文字に満たない短い行長を含む、行長5～40文字の幅広い行長範囲で読み速度向上を実現できることがわかった。

本論文で見出した手法にはそれぞれ効果的な適用範囲があり、1行が5文字程度の短行で電子リーダー上に表示する場合には、第8章で見出した「指先のスクロール操作で発生する文字移動を眼球運動の一部と捉え、各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」、1行が10文字程度の行長で表示する場合には、第7章で見出した「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節ごとに異なる位相で文字を微振動させる表示方式」、1行が20文字以上で表示できる場合は、第6章で見出した「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字ベースラインを階段状に下げたレイアウト」を適用することで、文章を読み進める際の非効率な視点移動が改善され、読み心地や理解度を低下させることなく読み効率を向上できることがわかった。

## 第10章

### 結論

本論文では、人間の視知覚メカニズムにもとづいた文字レイアウトの工夫やスクロール操作の併用によって、文章を読み進める際の非効率な視点移動を改善し、読み心地や理解度を低下させることなく読み効率の向上をうながす新たな文章表示手法を見出すとともに、電子リーダーへの効果的な適用を図るための設計について明らかにすることを目的とした。その結果、以下の知見を得た。

**第4章**では、日本語横書き文の電子リーダーの行長設計に関連して、行長変化が読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証した。1行あたり5文字から40文字の5段階の行長で読み速度を検証した結果、読み速度は行長の伸長とともに増加し、最も短い5文字/行で最小、最も長い40文字/行で最大であったが、20文字/行以上ではほぼ一定の傾向を示した。実験協力者に最も好まれた行長範囲は20～29文字/行であった。読み速度の行長依存性は「停留時間」「順行サッカード長」「逆行による過剰停留数」「改行運動中の過剰停留数」の眼球運動指標で説明され、行長が長いほど、停留時間は短く順行サッカード長は長くなって読み速度の向上に寄与する一方で、行長が長いほど、逆行による過剰停留および改行運動中の過剰停留は増えて読み速度の低下をもたらすという、トレードオフの関係が見出された。

**第5章**では、日本語横書き文における改行位置が、読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証した。改行位置を文節間に設定したレイアウトでは、一定の長さで改行した従来レイアウトよりも、理解度を維持したまま、速く読めることがわかった。「改行位置を文節間に設定したレイアウト」における読み速度は、「一定の長さで改行した従来レイアウト」における読み速度よりも、5文字/行の場合に26%、40文字/行の場合に10%向上した。5～11文字/行の短行における読み速度の向上は、1行を1停留で読む割合が増大したことに起因する「停留数の削減」「改行運動中の過剰停留の削減」および「停留時間の短縮」によるものと推察された。29～40文字/行の長行における読み速度の向上は「改行運動中の過剰停留の削減」および「逆行による過剰停留の削減」によるものと推察された。改行位置を文節間に設定するレイアウト手法が、読み効率の向上に

つながることがわかった。

**第6章**では、第5章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え、さらに文字ベースラインを文節ごとに階段状に下げていく手法によって文節単位の視認性を向上させるレイアウトを提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字ベースラインを階段状に下げていくレイアウト」では、「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」よりも、理解度を維持したまま、速く読めることがわかった。このとき、91 %の実験協力者が読み心地の低下を感じなかったこともわかった。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字ベースラインを階段状に下げていくレイアウト」における読み速度は、「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」における読み速度よりも、20～40文字/行の範囲において、7～11 %向上した。読み速度の向上は停留数の減少によってもたらされており、「逆行数の減少」と「順行サッカード長の伸長」が主な原因と推察された。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で階段状に文字ベースラインを下げていくレイアウト」は、比較的長い20～40文字/行の行長範囲で読み効率の向上をうながす有効な表示方式であることがわかった。

**第7章**では、第6章の階段状ベースラインレイアウトでは改善されなかった比較的短い行長の読み効率向上を図るべく、第5章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節ごとに異なる位相で文字を微振動させる表示方式を提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字を微振動させた表示方式」では、「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」よりも、理解度を維持したまま、速く読めることがわかった。このとき、76 %の実験協力者が読み心地の低下を感じなかったこともわかった。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字を微振動させた表示方式」における読み速度は、「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」における読み速度よりも、11～29文字/行の範囲において、7～12 %向上した。読み速度の向上は停留数の減少によってもたらされており、「1文節あたりの再停留率の減少」および「1行を1停留で読む割合の増加に伴う停留の減少」が主な原因と推察された。「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字を微振動させた表示方式」は、比較的短い11～29文字/行の行長範囲で読み効率の向上をうながす有効な表示方式であることがわかった。

**第8章**では、第5～7章の手法では改善できなかった極めて短い5文字/行における読み効率向上を図るべく、指先のスクロール操作で発生する文字移動を眼球運動の一部ととらえ、各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しな

から読む表示方式を提案し、その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した。「各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」では、理解度を維持したまま、1行あたり29文字で改行した従来の日本語レイアウトと同等の速度で読めることがわかった。さらに1行あたり5文字で改行した従来の日本語レイアウトと比較すると、「各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」では36%速く読めることがわかった。また、「単各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」では、スクロール移動する文字の動きと、文字を読む目の動きが協調的に連携しており、あたかも長い一行を短いサックードで次々読んでいくような目の動きで読み進めていることがわかった。「各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」は、視点移動とスクロール操作を協調的に連携させるという新しい読み方を必要とするが、85%の実験協力者が読み心地の低下を感じておらず、約5文字/行の短い行長で読み効率の向上をうながす有効な表示方式であることがわかった。

第9章では、第4章から第8章の成果を集約し、最適な行長の検討から、文節にもとづく改行位置の調整、文節単位の視認性を高めるための階段状ベースラインや微振動の付与、さらにスクロール操作と目の動きを協調させて読む仕組みを日本語電子リーダーに組み込むことで、日本語文章を読み進める際の非効率な視点移動が改善され、行長5～40文字の範囲で読み速度向上を実現できることが見出された。本論文で見出した手法にはそれぞれ効果的な適用範囲があり、1行が5文字程度の短行で電子リーダー上に表示する場合には、第8章で見出した「指先のスクロール操作で発生する文字移動を眼球運動の一部にとらえ、各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」、1行が10文字程度の行長で表示する場合には、第7章で見出した「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節ごとに異なる位相で文字を微振動させる表示方式」、1行が20文字以上で表示できる場合は、第6章で見出した「改行位置を文節間に設定する手法に加え、文節単位で文字ベースラインを階段状に下げしていくレイアウト」を適用することで、文章を読み進める際の非効率な視点移動が改善され、読み心地や理解度を低下させることなく読み速度を向上できることがわかった。

## 謝辞

本論文は、公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科博士（後期）課程、および、筆者が所属する大日本印刷株式会社と公立はこだて未来大学の共同研究における成果をまとめたものです。

公立はこだて未来大学教授 川嶋稔夫先生には、面識のなかった私を快く受け入れてくださった共同研究にはじまり、就学から本成果に至るまで、多大な御指導と御鞭撻を賜りました。普段の会話からも研究のみならず人生について多くのことを学びました。謹んで厚く御礼申し上げます。

公立はこだて未来大学教授 松原仁先生には、本論文の査読のみならず本研究の過程において幾度となく実験の便宜をお図りいただくなかで、多くの御指導と御鞭撻を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

公立はこだて未来大学教授 木村健一先生には、本論文の査読のみならず学会等を通じて多くの御指導と御鞭撻を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

公立はこだて未来大学教授 中田隆行先生には、本論文の査読のみならず入学当初より懇切丁寧なる御指導と御鞭撻を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

大日本印刷株式会社主席研究員 新堀英二氏には、本研究のみならず、入社以来、直属の上司として研究開発から実用化に至る業務全般にわたって、始終懇切丁寧なる多大な御指導と御鞭撻を賜りました。氏の御指導と御鞭撻なくしては、今の私はありません。ここに厚く御礼申し上げます。

研究のみならず就学にあたって御支援と御高配を賜りました大日本印刷株式会社の関係各位に深く感謝いたします。とくに大日本印刷株式会社 執行役員 中川清貴氏、旧 同社 honto ビジネス本部ビジネス開発ユニットユニット長 岡素裕氏、旧 同社同本部同ユニットユニット長 中島孝浩氏、旧 同社同本部同ユニット出版メディア研究開発部第一グループグループ長 関口隆氏、旧 同社電子出版ソリューション本部 D プロジェクト出版メディア研究部グループリーダー 上野雅之氏、並びに大日本印刷株式会社 執行役員 高田和彦氏、



同社 AB センター ICT 事業開発本部 ICT 開発ユニットユニット長 前田強氏，同社同センター同本部同ユニットフロンティアテック・ラボ室長 安藤真理氏には，様々な御指導と多大な御支援御高配を賜りました。また大日本印刷株式会社 honto ビジネス本部の諸氏ならびに同社 AB センターの諸氏には，活発な議論と多くの御助言そして温かい励ましのお言葉を賜りました。心より御礼申し上げます。

富士ゼロックス株式会社 柴田博仁博士には，貴重な発表や議論の場を賜るとともに，学会等を通じて多くの御助言と御高配を賜りました。心より感謝申し上げます。

京都大学特定教授 中小路久美代先生ならびに京都大学特定教授 山本恭裕先生には，いつも温かい励ましのお言葉と本研究に限らない様々な発想の種を賜りました。心より感謝申し上げます。

国立障害者リハビリテーションセンター自立支援局 函館視力障害センターの関係各位には，読みと視野に関する重要な知見のみならず実験にも御協力を賜りました。心より感謝申し上げます。

公立はこだて未来大学の先生方には，様々な機会に貴重な御助言を賜りました。とくに公立はこだて未来大学教授 岡本誠先生，公立はこだて未来大学准教授 花田光彦先生，公立はこだて未来大学准教授 寺沢憲吾先生には，入学当初より研究報告会等を通じて多くの御助言と御高配を賜りました。心より感謝申し上げます。

実験に御協力くださった公立はこだて未来大学の諸氏に深く感謝いたします。とくに公立はこだて未来大学大学院 亀ヶ森理史氏，公立はこだて未来大学大学院 北みさと氏には，実験にあたって，御参加くださった方々の日程調整から各種手続きの迅速な遂行に御尽力を賜りました。心より感謝申し上げます。

公立はこだて未来大学 川嶋研究室の諸氏ならびに寺沢研究室の諸氏には，ゼミや研究室での議論のみならず函館での生活にあたって大変お世話になりました。ここにあらためて深く感謝いたします。

いまの気持ちを忘れずに，さらなる課題に取り組んでいく所存です。

最後に，いつも支えてくれた妻と子供たちに深く感謝します。

2016 年 8 月 22 日

## 参考文献

- [Aar77] D. Aaronson and H. S. Scarborough: Performance theories for sentence coding: Some quantitative models, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, vol. 16, no. 3, pp. 277–303 (1977).
- [Abr72] S. G. Abrams and B. L. Zuber: Some temporal characteristics of information processing during reading, *Reading*, vol. 8, no. 1, pp. 40–51 (1972).
- [Abr88] R. A. Abrams and J. Jonides: Programming saccadic eye movements, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 14, no. 3, pp. 428–443 (1988).
- [Ada79] M. J. Adams: Models of word recognition, *Cognitive Psychology*, vol. 11, no. 2, pp. 133–176 (1979).
- [Ard05] A. Arditi and J. Cho: Serifs and font legibility, *Vision Research*, vol. 45, no. 23, pp. 2926–2933 (2005).
- [Ben15] S. Benedetto, A. Carbone, M. Pedrotti, K. Le Fevre, L. A. Y. Bey, and T. Baccino: Rapid serial visual presentation in reading: The case of Spritz, *Computers in Human Behavior*, vol. 45, pp. 352–358 (2015).
- [Bey05] D. Beymer, D. M. Russell, and P. Z. Orton: Wide vs. narrow paragraphs: An eye tracking analysis, in M. F. Costabile and F. Paternò eds., *Human-Computer Interaction - INTERACT 2005*, vol. 3585 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 741–752, Berlin, Heidelberg (2005), Springer Berlin Heidelberg.
- [Bou74] H. Bouma and A. De Voogd: On the control of eye saccades in reading, *Vision Research*, vol. 14, no. 4, pp. 273–284 (1974).
- [Bry96] M. Brysbaert, F. Vitu, and W. Schroyens: The right visual field advantage and the optimal viewing position effect: On the relation between foveal and parafoveal word recognition, *Neuropsychology*, vol. 10, no. 3, pp. 385–395 (1996).
- [Bue85] M. Buettner, C. C. Krischer, and R. Meissen: Characterization of gliding text as a reading stimulus, *Bulletin of the Psychonomic Society*, vol. 23, no. 6, pp. 479–482 (1985).
- [Cas01] M. S. Castelhana and P. Muter: Optimizing the reading of electronic text using rapid serial visual presentation, *Behaviour and Information Technology*, vol. 20, no. 4, pp. 237–247 (2001).

- [Che86] H. Chen: Effects of reading span and textual coherence on rapid-sequential reading, *Memory & Cognition*, vol. 14, no. 3, pp. 202–208 (1986).
- [Coc84] T. G. Cocklin, N. J. Ward, H. Chen, and J. F. Juola: Factors influencing readability of rapidly presented text segments, *Memory & Cognition*, vol. 12, no. 5, pp. 431–442 (1984).
- [Deg92] A. Degani: On the typography of flight-deck documentation, Technical report, NASA; United States (1992).
- [Deu99] A. Deutsch and K. Rayner: Initial fixation location effects in reading hebrew words, *Language and Cognitive Processes*, vol. 14, no. 4, pp. 393–421 (1999).
- [Duc83] R. L. Duchnicky and P. A. Kolars: Readability of text scrolled on visual display terminals as a function of window size, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 25, no. 6, pp. 683–692 (1983).
- [Dun78] P. Dunn-Rankin: The visual characteristics of words, *Scientific American*, vol. 238, no. 1, pp. 122–130 (1978).
- [Dys98] M. C. Dyson and G. J. Kipping: The effects of line length and method of movement on patterns of reading from screen, *Visible Language*, vol. 32, no. 2, pp. 150–181 (1998).
- [Dys01] M. C. Dyson and M. Haselgrove: The influence of reading speed and line length on the effectiveness of reading from screen, *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 54, no. 4, pp. 585–612 (2001).
- [Dys04] M. C. Dyson: How physical text layout affects reading from screen, *Behaviour and Information Technology*, vol. 23, no. 6, pp. 377–393 (2004).
- [For70] K. I. Forster: Visual perception of rapidly presented word sequences of varying complexity, *Perception & Psychophysics*, vol. 8, no. 4, pp. 215–221 (1970).
- [Gil11] I. D. Gilchrist: Saccades, in S. Liversedge, I. Gilchrist, and S. Everling eds., *The Oxford Handbook of Eye Movements*, pp. 85–94, Oxford University Press (2011).
- [Gra84] M. M. Granaas, T. D. McKay, R. D. Laham, L. D. Hurt, and J. F. Juola: Reading moving text on a CRT screen, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 26, no. 1, pp. 97–104 (1984).
- [Hab81] R. N. Haber and R. M. Schindler: Error in proofreading: Evidence of syntactic control of letter processing?, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 7, no. 3, pp. 573–579 (1981).
- [Hen95] J. M. Henderson, P. Dixon, A. Petersen, L. C. Twilley, and F. Et al: Evidence for the use of phonological representations during transsaccadic word recognition, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 21, no. 1, pp. 82–97 (1995).

- [Hoc70] J. Hochberg: Components of literacy: Speculations and exploratory research, in H. Levin and J. P. Williams eds., *Basic Studies on Reading*, chapter 10, pp. 125–138, Basic Books (1970).
- [Hue08] E. B. Huey: *The psychology and pedagogy of reading; with a review of the history of reading and writing and of methods, texts, and hygiene in reading*, Macmillan (1908).
- [Hyö89] J. Hyönä, P. Niemi, and G. Underwood: Reading long words embedded in sentences: Informativeness of word halves affects eye movements., *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 15, no. 1, pp. 142–152 (1989).
- [Hyö95] J. Hyönä: Do irregular letter combinations attract readers' attention? Evidence from fixation locations in words, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 21, no. 1, pp. 68–81 (1995).
- [Hyö11] J. Hyönä and R. Bertram: Optimal viewing position effects in reading Finnish, *Vision Research*, vol. 51, no. 11, pp. 1279–1287 (2011).
- [Ike78] M. Ikeda and S. Saida: Span of Recognition in Reading, *Vision Research*, vol. 18, no. 1, pp. 83–88 (1978).
- [Ike79] M. Ikeda, K. Uchikawa, and S. Saida: Static and dynamic functional visual fields, *Optica Acta: International Journal of Optics*, vol. 26, no. 8, pp. 1103–1113 (1979).
- [Inh98] A. W. Inhoff and R. Radach: Definition and computation of oculomotor measures in the study of cognitive processes, in G. Underwood ed., *Eye guidance in reading and scene perception*, pp. 29–54, Elsevier (1998).
- [Irw98] D. E. Irwin: Lexical processing during saccadic eye movements, *Cognitive Psychology*, vol. 36, no. 1, pp. 1–27 (1998).
- [Ish89] T. Ishida and M. Ikeda: Temporal properties of information extraction in reading studied by a text-mask replacement technique, *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 6, no. 10, p. 1624 (1989).
- [Jon47] L. A. Jones and G. C. Higgins: Photographic granularity and graininess. III. Some characteristics of the visual system of importance in the evaluation of graininess and granularity, *Journal of the Optical Society of America*, vol. 37, no. 4, pp. 217–263 (1947).
- [Juo82] J. F. Juola, N. J. Ward, and T. McNamara: Visual search and reading of rapid serial presentations of letter strings, words, and text, *Journal of Experimental Psychology: General*, vol. 111, no. 2, pp. 208–227 (1982).
- [Jus80] M. A. Just and P. A. Carpenter: A theory of reading: From eye fixations to comprehension, *Psychological Review*, vol. 87, no. 4, pp. 329–354 (1980).

- [Kaj00] N. Kajii and N. Osaka: Optimal viewing position in vertically and horizontally presented Japanese words, *Perception & Psychophysics*, vol. 62, no. 8, pp. 1634–1644 (2000).
- [Kath86] K. T. Spoehr, S. W. Lehmkuhle, 直行亭阪: 視覚の情報処理: 「見ること」のソフトウェア, サイエンス社 (1986).
- [Kaw05] T. Kawashima, T. Terashima, T. Nagasaki, and M. Toda: Enhancing visual perception using dynamic updating of display, in G. Grieser and Y. Tanaka eds., *Intuitive Human Interfaces for Organizing and Accessing Intellectual Assets*, vol. 3359 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 127–141, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2005).
- [Lar04] K. Larson: The science of word recognition: or how I learned to stop worrying and love the bouma, Technical report, Microsoft Corporation (2004).
- [Leg07] G. E. Legge: *Psychophysics of reading in normal and low vision*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers (2007).
- [Mar09] M. Martelli, G. Di Filippo, D. Spinelli, and P. Zoccolotti: Crowding, reading, and developmental dyslexia, *Journal of vision*, vol. 9, no. 4, pp. 14.1–18 (2009).
- [Mas83] M. E. J. Masson: Conceptual processing of text during skimming and rapid sequential reading, *Memory & Cognition*, vol. 11, no. 3, pp. 262–274 (1983).
- [Mau14] M. S. Maurer, M. Klein, and F. A. Waldman: Serial text display for optimal recognition apparatus and method (2014).
- [McC75] G. W. McConkie and K. Rayner: The span of the effective stimulus during a fixation in reading, *Perception & Psychophysics*, vol. 17, no. 6, pp. 578–586 (1975).
- [McC76] G. W. McConkie and K. Rayner: Asymmetry of the perceptual span in reading, *Bulletin of the Psychonomic Society*, vol. 8, no. 5, pp. 365–368 (1976).
- [McC88] G. McConkie, P. Kerr, M. Reddix, and D. Zola: Eye movement control during reading: I. The location of initial eye fixations on words, *Vision Research*, vol. 28, no. 10, pp. 1107–1118 (1988).
- [McC89] G. W. McConkie, P. W. Kerr, M. D. Reddix, D. Zola, and A. M. Jacobs: Eye movement control during reading: II. Frequency of refixating a word, *Perception & Psychophysics*, vol. 46, no. 3, pp. 245–253 (1989).
- [Mon83] A. F. Monk and C. Hulme: Errors in proofreading: Evidence for the use of word shape in word recognition, *Memory & Cognition*, vol. 11, no. 1, pp. 16–23 (1983).
- [Mor81] R. E. Morrison and K. Rayner: Saccade size in reading depends upon character spaces and not visual angle, *Perception & Psychophysics*, vol. 30, no. 4, pp. 395–396 (1981).

- [Mor83] R. E. Morrison: Retinal image size and the perceptual span in reading, in K. Rayner ed., *Eye Movements in Reading: Perceptual and Language Processes*, pp. 31–40, Academic Press (1983).
- [Mor90] R. K. Morris, K. Rayner, and A. Pollatsek: Eye movement guidance in reading: the role of parafoveal letter and space information., *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, vol. 16, no. 2, pp. 268–81 (1990).
- [NAC09] NAC Image Technology Inc.: EMR-dFactory ver.2.1 取扱説明書 (2009).
- [Naz91] T. A. Nazir, J. K. O'Regan, and A. M. Jacobs: On words and their letters, *Bulletin of the Psychonomic Society*, vol. 29, no. 2, pp. 171–174 (1991).
- [O'R79] J. K. O'Regan: Saccade size control in reading: Evidence for the linguistic control hypothesis, *Perception & Psychophysics*, vol. 25, no. 6, pp. 501–509 (1979).
- [O'R80] J. K. O'Regan: The control of saccade size and fixation duration in reading: The limits of linguistic control, *Perception & Psychophysics*, vol. 28, no. 2, pp. 112–117 (1980).
- [O'R83] J. K. O'Regan, A. Lévy-Schoen, and A. M. Jacobs: The effect of visibility on eye-movement parameters in reading, *Perception & Psychophysics*, vol. 34, no. 5, pp. 457–464 (1983).
- [O'R84] J. K. O'Regan, A. Lévy-Schoen, J. Pynte, and B. Brugailière: Convenient fixation location within isolated words of different length and structure, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 10, no. 2, pp. 250–257 (1984).
- [O'R87] J. K. O'Regan and A. Lévy-Schoen: Eye-movement strategy and tactics in word recognition and reading, in M. Coltheart ed., *Attention and performance XII: The psychology of reading*, pp. 363–383, Erlbaum (1987).
- [O'R92a] J. K. O'Regan: Optimal viewing position in words and the strategy-tactics theory of eye movements in reading, in K. Rayner ed., *Eye Movements and Visual Cognition*, pp. 333–354, Springer New York (1992).
- [O'R92b] J. K. O'Regan and A. M. Jacobs: Optimal viewing position effect in word recognition: A challenge to current theory, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 18, no. 1, pp. 185–197 (1992).
- [Osa87] N. Osaka: Effect of peripheral visual field size upon eye movements during Japanese text processing, in J. O'Regan and A. Lévy-Schoen eds., *Eye Movements from Physiology to Cognition*, pp. 421–429, Elsevier (1987).
- [Osa89] N. Osaka: Eye fixation and saccade during kana and kanji text reading: comparison of English and Japanese text processing, *Bulletin of the Psychonomic Society*, vol. 27, no. 6, pp. 548–550 (1989).

- [Osa91] N. Osaka and K. Oda: Effective visual field size necessary for vertical reading during Japanese text processing, *Bulletin of the Psychonomic Society*, vol. 29, no. 4, pp. 345–347 (1991).
- [Osa92] N. Osaka: Size of saccade and fixation duration of eye movements during reading: psychophysics of Japanese text processing, *Journal of the Optical Society of America: A*, vol. 9, no. 1, pp. 5–13 (1992).
- [Osa93] N. Osaka: Asymmetry of the effective visual field in vertical reading as measured with a moving window, in *Perception and Cognition: Advances in Eye Movement Research*, pp. 275–283, North-Holland (1993).
- [Pol82] A. Pollatsek and K. Rayner: Eye movement control in reading: The role of word boundaries, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 8, no. 6, pp. 817–833 (1982).
- [Pol92] A. Pollatsek, M. Lesch, R. K. Morris, and K. Rayner: Phonological codes are used in integrating information across saccades in word identification and reading, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 18, no. 1, pp. 148–162 (1992).
- [Pol93] A. Pollatsek, G. E. Raney, L. Lagasse, and K. Rayner: The use of information below fixation in reading and in visual search, *Canadian Journal of Experimental Psychology*, vol. 47, no. 2, pp. 179–200 (1993).
- [Pot83] M. C. Potter: Representational buffers: the eye-mind hypothesis in picture perception, reading, and visual search, in K. Rayner ed., *Eye Movements in Reading: Perceptual and Language Processes*, chapter 24, pp. 413–438, Academic Press (1983).
- [Pot84] M. C. Potter: Rapid serial visual presentation (RSVP): A method for studying language processing, in D. E. Kieras and M. A. Just eds., *New Methods in Reading Comprehension Research*, pp. 91–118, Lawrence Erlbaum (1984).
- [Pou62] E. C. Poulton: Peripheral vision, refractoriness and eye movements in fast oral reading, *British Journal of Psychology*, vol. 53, no. 4, pp. 409–419 (1962).
- [Pri61] R. M. Pritchard: Stabilized images on the retina, *Scientific American*, vol. 204, no. 6, pp. 72–78 (1961).
- [Rad93] R. Radach and V. Kempe: An individual analysis of initial fixation positions in reading, in G. d. Ydewalle and J. V. Rensbergen eds., *Perception and cognition: advances in eye movement research*, pp. 213–225, North-Holland (1993).
- [Ray75] K. Rayner: The perceptual span and peripheral cues in reading, *Cognitive Psychology*, vol. 7, no. 1, pp. 65–81 (1975).
- [Ray76] K. Rayner and G. W. McConkie: What guides a reader's eye movements?, *Vision Research*, vol. 16, no. 8, pp. 829–837 (1976).

- [Ray79] K. Rayner: Eye guidance in reading: fixation locations within words, *Perception*, vol. 8, no. 1, pp. 21–30 (1979).
- [Ray81] K. Rayner, A. W. Inhoff, R. E. Morrison, M. L. Slowiaczek, and J. H. Bertera: Masking of foveal and parafoveal vision during eye fixations in reading, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 7, no. 1, pp. 167–179 (1981).
- [Ray83] K. Rayner, M. L. Slowiaczek, C. Clifton, and J. H. Bertera: Latency of sequential eye movements: Implications for reading, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 9, no. 6, pp. 912–922 (1983).
- [Ray86] K. Rayner, D. A. Balota, and A. Pollatsek: Against parafoveal semantic preprocessing during eye fixations in reading, *Canadian Journal of Psychology*, vol. 40, no. 4, pp. 473–483 (1986).
- [Ray87] K. Rayner and D. L. Fisher: Letter processing during eye fixations in visual search, *Perception & Psychophysics*, vol. 42, no. 1, pp. 87–100 (1987).
- [Ray89] K. Rayner and A. Pollatsek: *The psychology of reading*, Lawrence Erlbaum Associates (1989).
- [Ray92] K. Rayner and R. K. Morris: Eye movement control in reading: Evidence against semantic preprocessing, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 18, no. 1, pp. 163–172 (1992).
- [Ray96a] K. Rayner and A. Pollatsek: Reading unspaced text is not easy: Comments on the implications of Epelboim et al.’s (1994) study for models of eye movement control in reading, *Vision Research*, vol. 36, no. 3, pp. 461–465 (1996).
- [Ray96b] K. Rayner, S. C. Sereno, and G. E. Raney: Eye movement control in reading: A comparison of two types of models, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 22, no. 5, pp. 1188–1200 (1996).
- [Ray98a] K. Rayner: Eye movements in reading and information processing: 20 years of research, *Psychological Bulletin*, vol. 124, no. 3, pp. 372–422 (1998).
- [Ray98b] K. Rayner, M. H. Fischer, and A. Pollatsek: Unspaced text interferes with both word identification and eye movement control, *Vision Research*, vol. 38, no. 8, pp. 1129–1144 (1998).
- [Ray12a] K. Rayner: The work of the eyes, in K. Rayner, A. Pollatsek, J. Ashby, and C. Clifton, Jr. eds., *Psychology of Reading*, pp. 91–134, Psychology Press (2012).
- [Ray12b] K. Rayner and C. Clifton, Jr.: Final overview, in K. Rayner, A. Pollatsek, J. Ashby, and C. Clifton, Jr. eds., *Psychology of Reading*, chapter 14, pp. 397–404, Psychology Press (2012).



- [Ray14] K. Rayner: The gaze-contingent moving window in reading: Development and review, *Visual Cognition*, vol. 22, no. 3-4, pp. 242–258 (2014).
- [Rei68] G. M. Reicher: Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material, *Journal of Experimental Psychology*, vol. 81, no. 2, pp. 275–280 (1968).
- [Rub92] G. S. Rubin and K. Turano: Reading without saccadic eye movements, *Vision Research*, vol. 32, no. 5, pp. 895–902 (1992).
- [Rub94] G. S. Rubin and K. Turano: Low vision reading with sequential word presentation, *Vision Research*, vol. 34, no. 13, pp. 1723–1733 (1994).
- [Sai07] M. Sainio, J. Hyönä, K. Bingushi, and R. Bertram: The role of interword spacing in reading Japanese: an eye movement study, *Vision Research*, vol. 47, no. 20, pp. 2575–84 (2007).
- [Sal80] T. A. Salthouse and C. L. Ellis: Determinants of eye-fixation duration, *The American Journal of Psychology*, vol. 93, no. 2, pp. 207–34 (1980).
- [Sch13a] M. H. Schneps, J. M. Thomson, C. Chen, G. Sonnert, and M. Pomplun: E-readers are more effective than paper for some with dyslexia, *PloS one*, vol. 8, no. 9, p. e75634 (2013).
- [Sch13b] M. H. Schneps, J. M. Thomson, G. Sonnert, M. Pomplun, C. Chen, and A. Heffner-Wong: Shorter lines facilitate reading in those who struggle, *PloS one*, vol. 8, no. 8, p. e71161 (2013).
- [Sek82] A. Sekey and J. Tietz: Text display by 'saccadic scrolling', *Visible Language*, vol. 16, no. 1, pp. 62–76 (1982).
- [Tin29] M. A. Tinker and D. G. Paterson: Studies of typographical factors influencing speed of reading: III. Length of line, *Journal of Applied Psychology*, vol. 13, no. 3, pp. 205–219 (1929).
- [Vit90] F. Vitu, J. K. O'Regan, and M. Mittau: Optimal landing position in reading isolated words and continuous text, *Perception & Psychophysics*, vol. 47, no. 6, pp. 583–600 (1990).
- [Vit95] F. Vitu, J. K. O'Regan, A. W. Inhoff, and R. Topolski: Mindless reading: Eye-movement characteristics are similar in scanning letter strings and reading texts, *Perception & Psychophysics*, vol. 57, no. 3, pp. 352–364 (1995).
- [Vit98] F. Vitu, G. W. McConkie, and D. Zola: About regressive saccades in reading and their relation to word identification, in G. Underwood ed., *Eye Guidance in Reading and Scene Perception*, pp. 101–124, Elsevier (1998).
- [Wer94] T. Wertheim: Über die indirekte Sehschärfe, *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, vol. 7, pp. 172–187 (1894).

- [Wil86] N. L. Williamson, P. Muter, and R. S. Kruk: Computerized Presentation of Text for The Visually Handicapped, *Advances in Psychology*, vol. 34, pp. 115–125 (1986).
- [You84] S. R. Young: RSVP: A task, reading aid, and research tool, *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, vol. 16, no. 2, pp. 121–124 (1984).
- [Zor12] M. Zorzi, C. Barbiero, A. Facoetti, I. Lonciari, M. Carrozzi, M. Montico, L. Bravar, F. George, C. Pech-Georgel, and J. C. Ziegler: Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 109, no. 28, pp. 11455–9 (2012).
- [安原 95] 安原宏, 小山法孝: 自然言語処理を用いた日本語文書自動整形システム, 情報処理学会論文誌, vol. 36, no. 6, pp. 1449–1455 (1995).
- [永野 60] 永野賢, 林四郎, 渡辺友左: 新聞の文章のわかりやすさに関する調査研究, 国立国語研究所年報, vol. 11, pp. 76–130 (1960).
- [永野 64] 永野賢, 高橋太郎, 渡辺友左: 横組みの字形に関する研究, 国立国語研究所報告, vol. 24, (1964).
- [塩入 93] 塩入論: サッカー抑制, 視野安定およびサッカー統合, 眼球運動の実験心理学, pp. 101–122, 名古屋大学出版会 (1993).
- [梶井 97] 梶井夏実, 苧阪直行: 単語の読みにおける最適停留位置効果, 日本心理学会第 61 回大会発表論文集, p. 672 (1997).
- [窪田 03] 窪田悟, 伊藤瑞穂, 岡田想, 小田泰久: 横スクロール文字の可読性, 映像情報メディア学会誌: 映像情報メディア, vol. 57, no. 11, pp. 1595–1597 (2003).
- [御領 87] 御領謙: 付録, 読むということ, pp. 155–174, 東京大学出版会 (1987).
- [高柳 93] 高柳恒夫, 中山実, 清水康敬: コンピュータディスプレイにおける平仮名文字の読みやすさ, 電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界, vol. 76, no. 5, pp. 774–776 (1993).
- [斎田 93] 斎田真也: 読みと眼球運動, 眼球運動の実験心理学, pp. 167–198, 名古屋大学出版会 (1993).
- [斎田 04] 斎田真也: 速読と眼球運動, 基礎心理学研究, vol. 23, no. 1, pp. 64–69 (2004).
- [山田 86] 山田光穂, 福田忠彦: 画像における注視点の定義と画像分析への応用, 電子情報通信学会論文誌. D, vol. J69-D, no. 9, pp. 1335–1342 (1986).
- [山田 93] 山田光穂, 福田忠彦: 画像と眼球運動, 眼球運動の実験心理学, pp. 199–218, 名古屋大学出版会 (1993).
- [山本 35] 山本三吾: 読書と眼球運動に就ての一実験, 心理学研究, vol. 10, no. 5-6, pp. 773–787 (1935).

- [篠森 07] 篠森敬三: 視覚 I — 視覚系の構造と初期機能 —, 朝倉書店 (2007).
- [小川 78] 小川博, 堀口真寿, 望月保: 主観評価実験により求めた CRT 漢字表示装置への文字表示条件, テレビジョン学会誌, vol. 32, no. 1, pp. 40–45 (1978).
- [小谷 11] 小谷章夫: 文字輪郭を用いた文字重心位置評価手法とそのフォント開発への応用, 湘南工科大学紀要, vol. 45, no. 1, pp. 1–11 (2011).
- [松田 95] 松田真幸: 近中心窩視による漢字形態情報の処理 — プライミング事態による検討 —, 基礎心理学研究, vol. 13, no. 2, pp. 81–87 (1995).
- [松田 01] 松田真幸: 日本語文の読みに及ぼす文節間空白の影響, 基礎心理学研究, vol. 19, no. 2, pp. 83–92 (2001).
- [森田 07] 森田ひろみ, 八木善彦, 菊地正, 椎名健: 周辺刺激が横スクロール表示の読みに及ぼす影響, 心理学研究, vol. 78, no. 5, pp. 486–494 (2007).
- [森田 15] 森田愛子: 速読は有益か — 速読に対するニーズの調査 —, 読書科学, vol. 56, no. 3, pp. 113–123 (2015).
- [神部 84] 神部尚武: 漢字かなまじり文の読みにおける漢字の役割 — 眼球運動および読み誤りの分析から —, 日本心理学会第 48 回大会発表論文集, p. 43 (1984).
- [神部 86] 神部尚武: 漢字仮名まじり文の読みの過程, 日本語学, vol. 5, no. 6, pp. 58–71 (1986).
- [神部 89] 神部尚武: 読みの眼球運動における一つの停留中の情報の受容範囲, 国立国語研究所報告, vol. 96, pp. 59–80 (1989).
- [神部 94] 神部尚武: 眼球運動と読みの過程 (IV) — ひとつの注視でとらえる情報 —, 日本心理学会第 58 回大会発表論文集, 第 2 巻, p. 707 (1994).
- [神部 98] 神部尚武: 日本語の読みと眼球運動, 読み — 脳と心の情報処理, pp. 1–16, 朝倉書店 (1998).
- [瀬川 92] 瀬川武美: 読速度と内容理解度から見た縦書きと横書きの読みやすさに関する研究 — 斜め書きの読みやすさとの比較から —, 読書科学, vol. 36, no. 3, pp. p99–107 (1992).
- [清原 03] 清原一暁, 中山実, 木村博茂, 清水英夫, 清水康敬: 文章の表示メディアと表示形式が文章理解に与える影響, 日本教育工学雑誌, vol. 27, no. 2, pp. 117–126 (2003).
- [西川 06] 西川賢哉, 小椋秀樹, 相馬さつき, 小磯花絵, 間淵洋子, 土屋菜穂子, 斉藤美紀: 文節の仕様について, 国立国語研究所「日本語話し言葉コーパス」DVD 付属マニュアル (2006).
- [石井 13] 石井亮登, 森田ひろみ: 縦スクロール表示された文章の快適な読み速度と眼球運動, 情報処理学会論文誌, vol. 54, no. 6, pp. 1784–1793 (2013).

- [川上 06] 川上満幸, 齋藤公亮, 山中仁寛, 鈴木哲: 横スクロール表示速度が生体の運動視に与える影響, 日本機械学会論文集. C 編, vol. 72, no. 720, pp. 2588–2594 (2006).
- [川嶋 04] 川嶋稔夫: 速読支援メディアの彼方へ, 感じる・楽しむ・創りだす 感性情報学, pp. 233–243, 工作舎 (2004).
- [草島 54] 草島時介, 村石昭三: 文字配列の合理化に関する実験的研究, Technical report, 国立国語研究所 (1954).
- [村田 09] 村田匡輝, 大野誠寛, 松原茂樹: 読みやすい字幕生成のための講演テキストへの改行挿入, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, vol. 92, no. 9, pp. 1621–1631 (2009).
- [池田 88] 池田光男: 眼はなにを見ているか: 視覚系の情報処理, 平凡社 (1988).
- [中條 93] 中條和光, 納富一宏, 石田敏郎: 横スクロール表示の読みの速度に及ぼす文字数の効果, 心理学研究, vol. 64, no. 5, pp. 360–368 (1993).
- [中條 98] 中條和光: スクロール表示と読みの情報処理, 読み—脳と心の情報処理, pp. 104–118, 朝倉書店 (1998).
- [中條 99] 中條和光: 「読み」の認知モデル: 日本語文章の読みに関する実験的研究, 協同出版 (1999).
- [苧阪 83] 苧阪直行: 周辺視機能の精神物理学的研究, 風間書房 (1983).
- [苧阪 92] 苧阪直行: 読みの精神物理学—有効視野の役割を中心に—, 哲学研究, vol. 48, no. 4, pp. 588–612 (1992).
- [苧阪 93] 苧阪良二, 中溝幸夫, 古賀一男: 眼球運動の実験心理学, 名古屋大学出版会 (1993).
- [苧阪 98] 苧阪直行: 移動窓による読みの実験的研究—周辺視と読みの関係—, 読み—脳と心の情報処理, pp. 17–41, 朝倉書店 (1998).
- [田中 16] 田中廣吉: 言語及讀方の基本的研究, 目黒書店 (1916).
- [渡部 71] 渡部叡: 注視点と眼球運動, 応用物理, vol. 40, no. 3, pp. 330–334 (1971).
- [渡部 75] 渡部叡, 坂田晴夫, 長谷川敬, 吉田辰夫, 畑田豊彦: 視覚の科学, 写真工業 (1975).
- [藤木 02] 藤木大介: 日本語文の読みにおける分節単位の検討, 広島大学心理学研究, vol. 2, pp. 21–27 (2002).
- [八木 10] 八木善彦, 菊地正: スクロール提示された文章の読み特性, 心理学研究, vol. 81, no. 4, pp. 388–396 (2010).
- [樋渡 83] 樋渡涓二, 入部紳一郎, 鈴木寿: 日本語文章に対する注視と認知, テレビジョン学会誌, vol. 37, no. 11, pp. 942–947 (1983).
- [福田 78] 福田忠彦: 図形知覚における中心視と周辺視の機能差, テレビジョン学会誌, vol. 32, no. 6, pp. 492–498 (1978).

- [齋藤 09] 齋藤大輔, 斎藤恵一, 斎藤正男, 東吉彦, 犬井正男: 眼球運動解析による可読性評価—文字色と背景色の組合せによる比較—, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, vol. 11, no. 1, pp. 23–28 (2009).

## 研究業績

### 査読付き原著論文

- [1] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節間改行レイアウトを有する日本語リーダーの読み効率評価, 人工知能学会論文誌, vol. 30, no. 2, pp. 479–484 (2015).
- [2] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節単位の階段状ベースラインを有する日本語リーダーの可読性, 電子情報通信学会論文誌, vol. J99-D, no. 1, pp. 13–22 (2016).
- [3] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 日本語リーダーにおける読み速度と眼球運動の行長依存性に基づく最適行長の検討, 電子情報通信学会論文誌, vol. J99-D, no. 1, pp. 23–34 (2016).
- [4] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節単位を考慮した文字配置の工夫がもたらす日本語電子リーダーの可読性向上, 人工知能学会論文誌. (投稿中)

### 国際会議プロシーディングス

- [1] Jumpei Kobayashi, Takashi Sekiguchi, Eiji Shinbori, and Toshio Kawashima, “Readability of stepped-line text layout with phrased segmentation for Japanese electronic text reading,” in 2015 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM), 2015, pp. 553–558.

### 研究会資料その他の論文

- [1] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 中心視野に限定された環境において読み効率を向上させる読書インタフェースの提案, in 情報処理学会全国大会, vol. 75, no. 4, pp. 37–38 (2013).
- [2] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 視点移動抑制レイアウトと視点移動代替機構を有する読書インタフェースの読み効率評価, in 人工知能学会全国大会, 4D1-6in (2013).
- [3] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 有効視野に最適化された読書インタフェースの読み効率評価, in 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, vol. 113, no. 216, pp. 49–54 (2013).

- [4] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 日本語リーダーの改行位置が読みにあたえる影響, in 情報処理学会全国大会, vol. 76, no. 4, pp. 29–30, (2014).
- [5] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節間改行レイアウトを有する日本語リーダーの読み効率評価, in 人工知能学会全国大会, 4E1-4in (2014).
- [6] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節間改行レイアウトを有する日本語リーダーの可読性, in 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, vol. 114, no. 67, pp. 225–230 (2014).
- [7] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節単位の階段状ベースラインを有する日本語リーダーの可読性, in 電子情報通信学会 HCG シンポジウム, pp. 570–576 (2014).
- [8] 池内優心, 小林潤平, 川嶋稔夫, “ストライプ型背景色を有する日本語リーダーの可読性,” in 情報処理学会全国大会講演論文集, vol. 77, no. 1, pp. 803–805 (2015).
- [9] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節単位で微振動させた日本語電子リーダーの可読性, in 人工知能学会全国大会, 4N1-2in (2015).
- [10] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 単文節行と階段状インデントを有する電子リーダーの読書アシスト効果, in 情報処理学会研究報告. DC, ドキュメントコミュニケーション, vol. 2015-DC-98, no. 8, pp. 1–8 (2015).
- [11] 小林潤平, 新堀英二, 川嶋稔夫: 日本語の読みにおける眼球運動と読み速度の関係, in 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, vol. 116, no. 31, pp. 219–224 (2016).
- [12] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節単位の視点移動を促す日本語リーダーの読書アシスト効果, in 人工知能学会全国大会, 1E2-2in2 (2016).
- [13] 米谷俊輝, 川嶋稔夫, 小林潤平: 視線応答型ディスプレイによる視野狭窄の動的シミュレーション, in 人工知能学会全国大会, 1E3-2 (2016).
- [14] 小林潤平: 読み効率を高める日本語電子リーダー設計の試み, 情報の科学と技術, vol. 66, no. 10 (2016). 【依頼原稿】

## 国際会議発表

- [1] Jumpei Kobayashi, Takashi Sekiguchi, Eiji Shinbori, and Toshio Kawashima, “Readability of stepped-line text layout with phrased segmentation for Japanese electronic text reading,” the 11th IEEE International Workshop on Multimedia Information Processing and Retrieval (IEEE-MIPR) in conjunction with 2015 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM), Miami, FL, USA, December, 2015. (Oral)

- [2] Jumpei Kobayashi, Takashi Sekiguchi, Eiji Shinbori, and Toshio Kawashima, “Stepped-line text layout with *bunsetsu*-based segmentation for Japanese electronic text reading,” ACM CHI 2016 Symposium on Emerging Japanese HCI Research Collection, San Jose, CA, USA, May, 2016. (Oral and Poster)
- [3] Jumpei Kobayashi, Eiji Shinbori, and Toshio Kawashima, “Development of Japanese electronic text readers based on perceptual mechanisms of reading,” the 23rd International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2016, Hukuoka, Japan, December, 2016. (Oral) 【Invited】

### 国内会議その他の発表

- [1] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 中心視野に限定された環境において読み効率を向上させる読書インタフェースの提案, 情報処理学会 第75回全国大会, 宮城県仙台市, 2013年3月. (口頭)
- [2] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 視点移動抑制レイアウトと視点移動代替機構を有する読書インタフェースの読み効率評価, 2013年度 人工知能学会全国大会, 富山県富山市, 2013年6月. (口頭+ポスター)
- [3] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 有効視野に最適化された読書インタフェースの読み効率評価, 電子情報通信学会 ヒューマン情報処理研究会, 京都府相楽郡, 2013年9月. (口頭)
- [4] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 日本語リーダーの改行位置が読みにあたえる影響, 情報処理学会 第76回全国大会, 東京都足立区, 2014年3月. (口頭)
- [5] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節間改行レイアウトを有する日本語リーダーの読み効率評価, 2014年度 人工知能学会全国大会, 愛媛県松山市, 2014年5月. (口頭+ポスター)
- [6] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節間改行レイアウトを有する日本語リーダーの可読性, 電子情報通信学会 ヒューマン情報処理研究会, 沖縄県那覇市, 2014年5月. (口頭)
- [7] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節単位の階段状ベースラインを有する日本語リーダーの可読性, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2015, 山口県下関市, 2015年12月. (口頭+ポスター)
- [8] 池内優心, 小林潤平, 川嶋稔夫, “ストライプ型背景色を有する日本語リーダーの可読性,” 情報処理学会 第77回全国大会, 京都市左京区, 2015年3月. (口頭)
- [9] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節単位で微振動させた日本語電子リーダーの可読性, 2015年度 人工知能学会全国大会, 北海道函館市, 2015年5月. (口頭+ポスター)



- [10] 川嶋稔夫, 小林潤平: 視覚心理にもとづく日本語電子リーダーの「よみ」体験デザイン, 情報処理学会 第98回ドキュメントコミュニケーション研究会, 北海道函館市, 2015年7月. (口頭) 【特別講演】
- [11] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 単文節行と階段状インデントを有する電子リーダーの読書アシスト効果, 情報処理学会 第98回ドキュメントコミュニケーション研究会, 北海道函館市, 2015年7月. (口頭)
- [12] 小林潤平: 読みの視覚特性にもとづく日本語電子リーダーの研究開発, ビジネス機械・情報システム産業協会 (JBMIA) 電子ペーパーコンソーシアム, 東京都港区, 2015年12月. (口頭) 【招待講演】
- [13] 小林潤平: 読みの視覚特性にもとづく新たな日本語組版への挑戦, ビジネス機械・情報システム産業協会 (JBMIA) 第12回 電子ペーパーシンポジウム, 東京都千代田区, 2016年3月. (口頭) 【招待講演】
- [14] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 日本語の読みにおける眼球運動と読み速度の関係, 電子情報通信学会 ヒューマン情報処理研究会, 沖縄県那覇市, 2016年5月. (口頭)
- [15] 小林潤平, 関口隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 文節単位の視点移動を促す日本語リーダーの読書アシスト効果, 2016年度 人工知能学会全国大会, 福岡県北九州市, 2016年6月. (口頭+ポスター)
- [16] 米谷俊輝, 川嶋稔夫, 小林潤平: 視線応答型ディスプレイによる視野狭窄の動的シミュレーション, 2016年度 人工知能学会全国大会, 福岡県北九州市, 2016年6月. (口頭)

## 展示会出展

- [1] 第20回 東京国際ブックフェア: 「読書を快適に, 電子ならではの読みを追求したビューワ」 東京都江東区, 2013年7月.
- [2] 第17回 図書館総合展: 「電子書籍を活用した未来の読み方支援」 神奈川県横浜市, 2015年11月.

## 新聞掲載

- [1] 日本経済新聞 (夕刊 一面): 「スマホで学習効率アップ 大日本印刷、速く読める表示法／NTT、なぞると文字濃く」 2015年8月24日.
- [2] 朝日新聞 (朝刊 文化・文芸面): 「電子書籍時代の速読術 機械がアシスト、1.3倍にも」 2016年2月16日.

## ■ 受賞

- [1] 小林潤平: 「視点移動抑制レイアウトと視点移動代替機構を有する読書インタフェースの読み効率評価」 人工知能学会, 2013 年度全国大会優秀賞 (2013).
- [2] 小林潤平: 「文節間改行レイアウトを有する日本語リーダーの読み効率評価」 人工知能学会, 2014 年度全国大会優秀賞 (2014).
- [3] 小林潤平: 「読書アシスト機能付き電子書籍リーダー研究開発の件」 大日本印刷株式会社, 業績表彰 2 級 (2014).